

PENGARUH PERSENTASE SiO_2 TERHADAP LAJU KOROSI KOMPOSIT PANi/ SiO_2 PADA LARUTAN KOROSIF (NaCl)

Nama : Dian Mart Shoodiqin
Nrp : 1112 201 016
Pembimbing : Dr.rer.nat. Triwikantoro, M.Si.

Abstrak

Dalam penelitian ini dilakukan pelapisan baja tipe SS304 dengan komposit PANi/ SiO_2 berbasis material alam sebagai pelapis anti korosi. Penelitian meliputi ekstraksi pasir silika dari pasir alam Bancar untuk mendapatkan SiO_2 dengan kemurnian yang tinggi dan pembuatan komposit PANi/ SiO_2 . Sintesis komposit PANi/ SiO_2 dilakukan dengan menggunakan metode polimerisasi in situ. Komposit PANi/ SiO_2 dicampurkan ke dalam cat yang selanjutnya dilapiskan pada baja tipe SS304 untuk dijadikan sebagai pelapis anti korosi. Perbandingan konsentrasi komposit PANi: SiO_2 yaitu 70:30, 80:20, dan 90:10. Baja tipe SS304 yang telah terlapisi diuji sifat korosi menggunakan metode Polarisasi. Topografi dan morfologi permukaan setelah uji korosi diamati menggunakan SEM dan EDX. Berdasarkan dari uji Polarisasi dan perhitungan laju korosi menunjukkan komposit PANi/ SiO_2 dengan perbandingan 70:30 memiliki ketahanan korosi yang paling baik diantara komposit yang lain. Pengamatan SEM menunjukkan jenis korosi yang terbentuk adalah korosi merata (uniform corrosion).

Kata Kunci: Polianilin (PANi), SiO_2 , polimerisasi in situ, korosi

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

THE INFLUENCE OF PERCENTAGE SiO_2 ON CORROSION RATE OF COMPOSITE PANi/ SiO_2 ON CORROSIVE SOLUTION (NaCl)

By : Dian Mart Shoodiqin
Student Identity Number : 1112 201 016
Advisor : Dr.rer.nat. Triwikantoro, M.Si.

ABSTRACT

In this research covers the extraction of silica sand from the sand Bancar to obtain high purity with SiO_2 and manufacture composite PANi/ SiO_2 . Synthesis of composite PANi/ SiO_2 is done by using the method of in situ polymerization. Composite PANi/ SiO_2 mixed into paint then coated on steel SS304 type to serve as anti-corrosion coatings. Comparison of the concentration of SiO_2 : PANi composite that is 70 : 30, 80 : 20, and 90 : 10. Steel SS304 type that has been tested using the method of corrosion properties of polarization. The topography and morphology of surface after corrosion test observed using SEM and EDX. Based on a test of Polarization and the calculation of corrosion rate shows a composite PANi/ SiO_2 with 70 : 30 ratio has the most excellent corrosion resistance among other composite. SEM observations indicate the type of corrosion is evenly formed (uniform corrosion).

Key Word: Polianilin (PANi), SiO_2 , in situ polymerization, corrosion

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister

Sains (M.Si.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Dian Mart Shoodiqin

NRP. 1112 201 016

Tanggal Ujian

Periode Wisuda :

Disetujui Oleh :

1. Dr. rer. nat Triwikantoro, M.Si.

NIP: 19660114 199002.1.001

2. Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.

NIP : 19690904 199203.1.003

3. Dr. Mashuri, S.Si, M.Si.

NIP: 19691216 199402.1.001

(Penguji)

(.....)

(Penguji)

(.....)

(Pembimbing)

(.....)

Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Adi Soepriyanto, MT

NIP. 19640405 199002.1.001

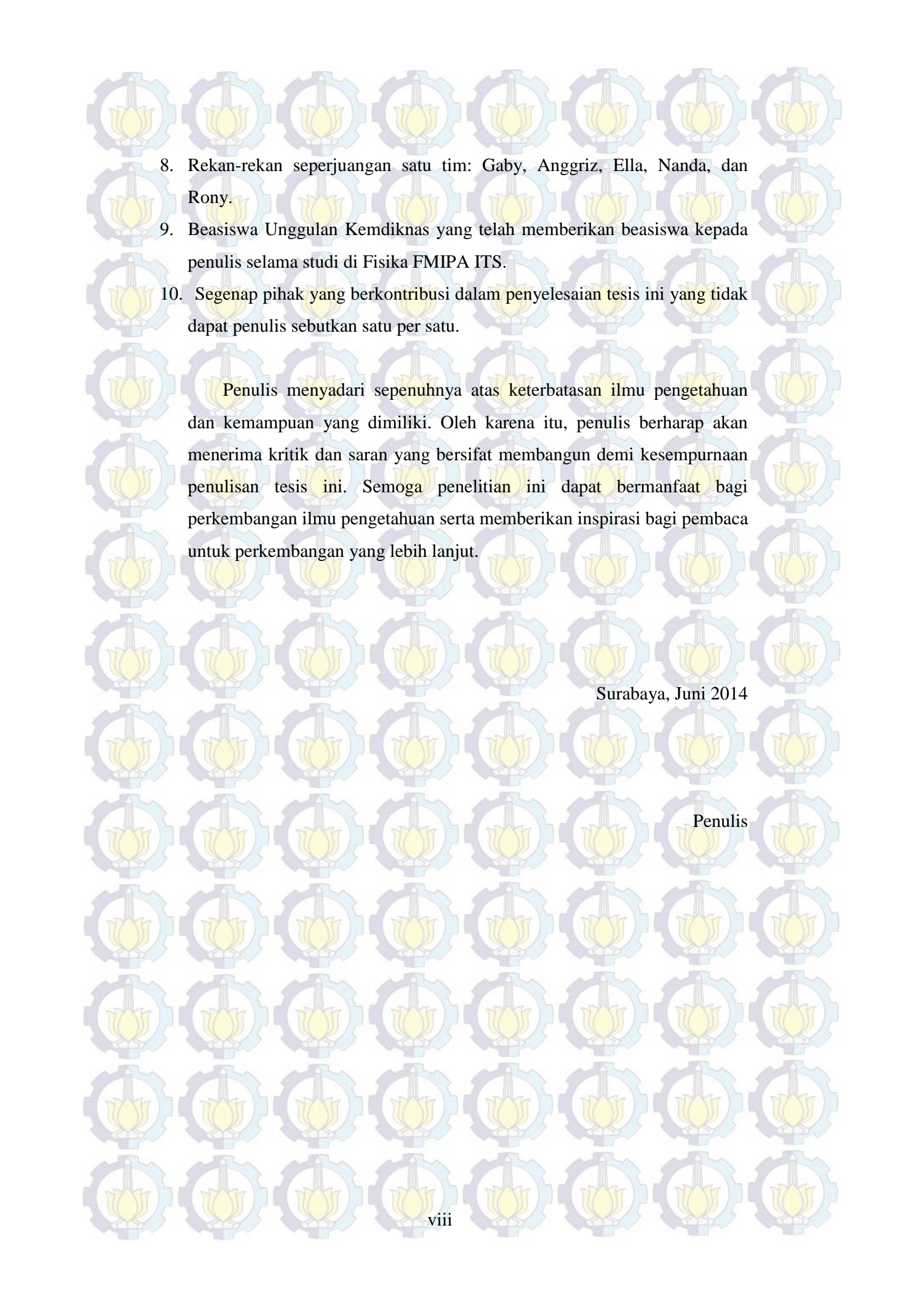
KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas berkat limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tesis sebagai syarat wajib untuk memperoleh gelar Magister Sains (M.Si) pada jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya dengan judul:

“PENGARUH PERSENTASE SiO_2 TERHADAP LAJU KOROSI KOMPOSIT PANI/ SiO_2 PADA LARUTAN KOROSIF NaCl ”

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya penyusunan Tesis ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bunda Uma'inah dan bapak Tegen yang senantiasa mencurahkan kasih sayang dan doa kepada penulis selama ini.
2. Keluarga (Bapak Rochim Dumadi, Ibu Suci Puji Menanti, Kakak Rigga Widar Atmagi, Adik Lailil Qurratul 'Ain, Adik Devi Claudia Palupi, Adik Regita Palupi). Terima kasih atas semangat dan doa restu yang telah diberikan kepada penulis selama ini.
3. Dr.rer.nat. Triwikantoro, M.Si, selaku dosen pembimbing tesis yang senantiasa memberikan bimbingan, wawasan, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.
4. Dr. Yono Hadi Pramono dan Dr. Mashuri, M.Si, selaku dosen penguji atas saran, kritik, masukan, dan arahnya sehingga memperluas wawasan penulis.
5. Dr. Yono Hadi Pramono, selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA ITS yang telah memberikan kemudahan sarana kepada penulis selama kuliah sampai terselesaikannya tesis ini.
6. Seluruh Staf Pengajar di Jurusan Fisika FMIPA ITS, terima kasih atas pendidikan, ilmu pengetahuan, dan motivasi yang telah diberikan.
7. Teman seperjuangan mahasiswa Pascasarjana Fisika angkatan 2012: Hendra, Devi, dan Rizky.

- 
8. Rekan-rekan seperjuangan satu tim: Gaby, Anggriz, Ella, Nanda, dan Rony.
 9. Beasiswa Unggulan Kemdiknas yang telah memberikan beasiswa kepada penulis selama studi di Fisika FMIPA ITS.
 10. Segenap pihak yang berkontribusi dalam penyelesaian tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari sepenuhnya atas keterbatasan ilmu pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki. Oleh karena itu, penulis berharap akan menerima kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan tesis ini. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan serta memberikan inspirasi bagi pembaca untuk perkembangan yang lebih lanjut.

Surabaya, Juni 2014

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
 BAB 1 PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
 BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	 5
2.1 Silika	5
2.2 Polianilin.....	8
2.3 Sifat Anti Korosi	13
 BAB 3 METODE PENELITIAN	 17
3.1 Peralatan dan Bahan	17
3.1.1 Peralatan	17
3.1.2 Bahan	17
3.2 Prosedur Penelitian	17
3.2.1 Proses Preparasi Pasir Alam	17
3.2.2 Prose Reduksi Ukuran Partikel.....	18
3.2.3 Leaching.....	18
3.2.4 Pencampuran SiO dan NaOH	18
3.2.5 Kopresipitasi.....	18

3.2.6 Sintesis Komposit PANi/SiO ₂	19
3.2.7 Pelapisan Komposit Anti Korosi	19
3.3 Karakterisasi Material	19
3.3.1 <i>X-Ray Flourescence</i> (XRF)	19
3.3.2 <i>X-Ray Diffractometer</i> (XRD)	19
3.3.3 Uji SEM	20
3.3.4 Uji FTIR.....	20
3.3.5 Uji Ketahanan Korosi	20
3.4 Skema Penelitian	21
3.4.1 Preparasi Pasir Silika	22
3.4.2 Sintesis Nano Silika	23
3.4.3 Sintesis Komposit PANi/SiO ₂	24
3.4.4 Skema Pengecatan	25
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Hasil XRD dan XRF Pasir Bancar	27
4.1.1 Hasil XRF Pasir Bancar	27
4.1.2 Hasil XRD Pasir Bancar	28
4.2 Hasil Pembuatan SiO ₂ Amorf	30
4.3 Hasil Pembuatan Komposit PANi/SiO ₂	32
4.4 Hasil Pengecatan	35
4.5 Hasil Pengujian Korosi dengan Polarisasi	40
4.6 Proses Korosi	43
4.7 Pembahasan	46
BAB 5 SIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Simpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	51
Lampiran.....	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema 2D Formasi Nanopartikel Silika	3
Gambar 2.2	Grafik XRD Variasi Temperatur Nano-SiO ₂ Dibandingkan Dengan Silika Amorf Dan Silika Kristal	4
Gambar 2.3	Diagram Fasa SiO ₂ (Akhavan, 2012)	5
Gambar 2.4	Struktur PANi Dalam Bentuk Garam Emeraldin.....	9
Gambar 2.5	(a) Pola difraksi sinar-X dan (b) Spektra Transmittans FTIR sampel PANi.	11
Gambar 3.1	Seperangkat Peralatan Potensiostat	15
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian	15
Gambar 3.3	Diagram Alir Preparasi Pasir Silika	16
Gambar 3.4	Diagram Alir Sintesis Nano Silika	17
Gambar 3.5	Diagram Alir Sintesis Komposit PANi/SiO ₂	18
Gambar 3.6	Diagram Alir Proses Pengecatan.....	19
Gambar 4.1	Hasil Pola Difraksi Pasir Bancar, Tuban.	22
Gambar 4.2	Hasil analisa pola difraksi pasir setelah <i>leaching</i>	23
Gambar 4.3	Serbuk Pasir Yang Telah di- <i>Milling</i> dan Direndam dalam Larutan HCl	24
Gambar 4.4	(a) Gel Silika Setelah Proses Kopresipitasi, (b) Gel Silika Dikeringkan Pada Temperatur 50 ⁰ C, (c) Serbuk Silika Amorf	25
Gambar 4.5	Hasil Pengamatan Morfologi SiO ₂ Amorf Dengan Analisa SEM	26
Gambar 4.6	Pola Difraksi Sinar-X (Radiasi Cu-K α) dari Serbuk Silika Amorf (SA) Setelah Proses Kopresipitasi.	26
Gambar 4.7	(a) Kodisi Awal Ketika Larutan Silika, Anilin, dan DBSA Dicampur Dengan APS, (b) Kondisi Akhir Setelah Ketika Larutan Silika, Anilin, dan DBSA Dicampur Dengan APS, (c) PANi Setelah Proses Polimerisasi, (d) PANi Setelah Disaring	27

Gambar 4.8	Hasil Pengamatan Morfologi Komposit PANi/SiO ₂ Dengan SEM	28
Gambar 4.9	Grafik Hasil Uji FTIR Polianilin dan Komposit PANi/SiO ₂ ..	29
Gambar 4.10	Baja Dengan Pengecatan Spray	30
Gambar 4.11	Hasil Analisa SEM dari Permukaan Atas Cat Dengan Metode Spray.....	30
Gambar 4.12	Hasil EDX dari Permukaan Atas Cat Dengan Metode Spray	31
Gambar 4.13	Pengukuran Ketebalan Cat Dengan SEM.	32
Gambar 4.14	Hasil SEM Penampang Lintang Bagian Atas, Tengah, Dan Bawah.....	33
Gambar 4.15	Diagram Tafel Komposit PANi/SiO ₂	35
Gambar 4.16	Komposit PANi/SiO ₂ Setelah Dimasukkan Dalam Larutan NaCl	36
Gambar 4.17	PANi Setelah Direndam Dalam Larutan NaCl	39
Gambar 4.18	Grafik XRD PANi setelah Direndam Dalam Larutan NaCl ..	40
Gambar 4.19	Pola Difraksi Sinar-X Silika Setelah Direndam Dalam NaCl	40

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Komposisi unsur serbuk pasir sebelum <i>leaching</i>	21
Tabel 4.2	Komposisi unsur serbuk pasir setelah <i>leaching</i>	22
Tabel 4.3	Panjang Gelombang Ikatan PANi	29
Tabel 4.4	Analisis Polarisasi	38

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang sangat pesat seringkali menuntut segala hal untuk maju dan berkembang. Berbagai hal yang menunjang untuk perkembangan lingkungan kota sampai ke pedesaan juga menjadi sangat vital, salah satu yang menjadi fokus utama pembangunan tersebut adalah pembangunan infrastruktur. Infrastruktur melingkupi berbagai macam sarana. Salah satu contoh infrastruktur yang pasti ada di setiap daerah adalah bangunan. Bangunan khususnya gedung merupakan unsur pokok yang mendukung segala macam aktivitas. Masalah yang seringkali muncul mengenai bangunan adalah ketahanan bangunan terhadap serangan korosi. Dalam suatu bangunan yang paling mudah diserang korosi adalah baja kontruksinya. Untuk menanggulangi masalah tersebut maka perlu dikembangkan teknologi yang tepat. Salah satu teknologi yang bisa diterapkan yakni metode pelapisan (*coating*) baja dengan material komposit yang berfungsi sebagai pelapis anti korosi. Bahan anti korosi yang digunakan diusahakan menggunakan bahan yang mudah didapat. Pasir silika merupakan bahan alam yang sangat melimpah yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar komposit tersebut.

Komposit yang digunakan adalah campuran antara polianilin dan silika (SiO_2). Polianilin adalah salah satu polimer konduktif yang mempunyai kestabilan tinggi di udara, pencegah korosi dan pelindung terhadap gelombang elektromagnetik, serta mempunyai konduktivitas tinggi (Li et al., 2005). Silika (SiO_2) biasa dimanfaatkan sebagai pigmen anti korosi.

Diharapkan perpaduan antara silika dan polianilin dapat menjadi solusi untuk mengatasi korosi yang sering terjadi pada baja kontruksi.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mendapatkan silika kemurnian tinggi berbahan dasar pasir pantai Bancar, Tuban dengan metode *hydrothermal* dan kopresipitasi.
2. Bagaimana cara mensintesis komposit polianilin (PANi)/SiO₂.
3. Bagaimana cara mencampur komposit dengan cat logam.
4. Bagaimana melakukan karakterisasi struktur komposit cat-(PANi/SiO₂).
5. Bagaimana pengaruh persentase silika terhadap ketahanan komposit cat-polianilin/silika dalam lingkungan korosif (salinitas tinggi).

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui cara membuat material pelapis dengan menggunakan komposit PANi/SiO₂
2. Mengetahui perilaku korosi komposit PANi/SiO₂ sebagai pelapis anti korosi.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bahan dasar yang digunakan adalah Pasir Pantai Bancar, Tuban, Jawa Timur.
2. Lingkungan korosif adalah larutan yang dikondisikan memiliki kandungan NaCl konsentrasi 3,5%.
3. Variasi persentase SiO₂ terhadap ketahanan komposit PANi:SiO₂ pada lingkungan korosif adalah 70:30, 80:20, dan 90:10.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Memberikan gambaran bagaimana cara memanfaatkan pasir silika sebagai bahan anti korosi yang mudah didapat.
2. Menghasilkan jurnal dan paper ilmiah yang dapat memberikan informasi tentang cara mensintesis komposit PANi/SiO₂, mengekstraksi pasir silika untuk menghasilkan SiO₂ dengan kemurnian tinggi, cara mendapatkan SiO₂ dengan ukuran mikrometer maupun nanometer dengan hidrotermal

dan kopresipitasi, serta pelapisan komposit PANi/SiO₂ untuk pelapis anti korosi baja.

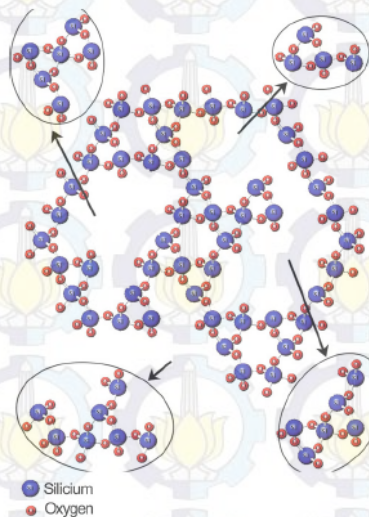
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Silika (SiO_2)

Banyak cara mendapatkan silika, baik dari bahan alam maupun dari barang bekas. Silika merupakan jenis logam oksida golongan IV yang memiliki ketahanan abrasi yang baik, isolator listrik, dan stabilitas termal yang tinggi. Silika memiliki ikatan koordinasi tetrahedral dengan satu atom silika (Si) di tengah dan empat atom oksigen (O) disekelilingnya (Basu dkk, 2011). Silika berbentuk kristal transparan dengan titik leleh sebesar 1873-1998 K dan densitasnya sebesar $2,648 \text{ g/cm}^3$ (Akbar, 2010).

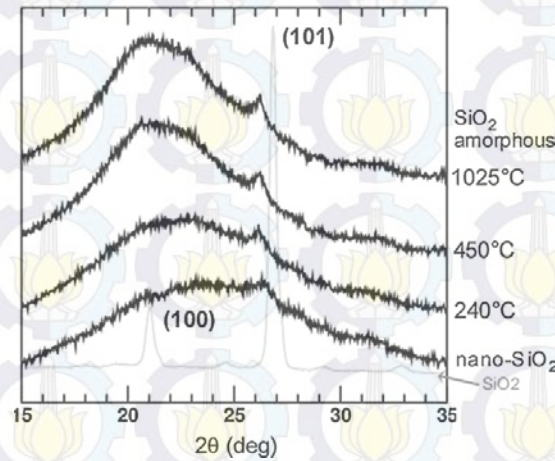
Silika dapat berupa kristal, amorf, dan berwujud acak. Sifat dari silika bergantung perilaku struktur selama reaksi sintesis. Silika amorf adalah material yang dihasilkan dari reaksi alkali-silika. Reaksi alkali-silika dimulai dengan pecahnya ikatan Si-O-Si dan hasilnya membentuk fasa amorf dan nanokristal (Boinski, 2010).



Gambar 2.1. Skema 2D Formasi Nanopartikel Silika (Boinski, 2010).

Penelitian tentang perilaku struktur dari kristal silika setelah penggilingan mekanik (*ball milling*) dengan beberapa variasi suhu kalsinasi menunjukkan bahwa pola XRD yang terbentuk antara nanokristal dan amorf silika berbeda. Kedua struktur dibedakan oleh susunan atom-atomnya. Mekanisme terbentuknya silika amorf disebabkan oleh energi penggilingan yang tinggi dan

waktu penggilingan yang lama. Ternyata, energi tinggi mampu mendegradasi kisi kristal diikuti dengan terbentuknya nanopartikel.



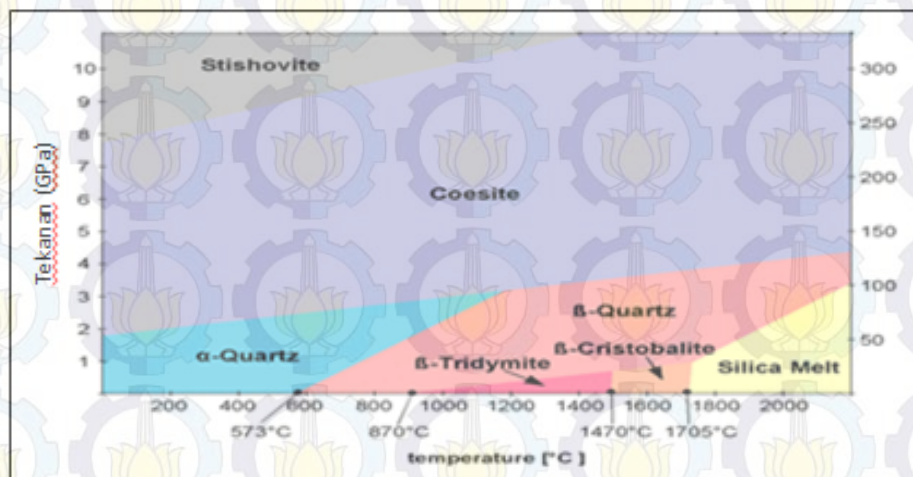
Gambar 2.2. Grafik XRD Variasi Temperatur Nano-SiO₂ Dibandingkan Dengan Silika Amorf Dan Silika Kristal.

Silika juga dapat ditemukan di alam yang pada umumnya banyak terkandung dalam batu pasir dan pasir kuarsa. Pasir kuarsa banyak tersebar di Indonesia. Senyawa SiO₂ adalah dapat menunjukkan sifat-sifat menarik dalam berbagai ukuran dan keadaan yang berbeda. Selain bentuk amorf, ada tiga bentuk kristal polimorfi silika yaitu quartz, tridymite, dan cristobalite (Szostak, 1998). Selain itu, kekuatan ikatan atom Si-O dicerminkan dengan temperatur leleh yang tinggi, 1710°C dan mempunyai kerapatan yang rendah.

Silika mempunyai kestabilan tinggi di air dan sebagai insulator yang baik. Salah satu keunggulan dari SiO₂ mempunyai aplikasi optik yang khusus sebagai transparansi untuk radiasi elektromagnetik pada *range* panjang gelombang 300-800 nm. Pada tekanan sangat tinggi 30-40 kBar, fasa yang disebut coesite terbentuk, yang di alam dapat ditemui sebagai hasil tumbukan meteorit (Suasmoro, 2000). Pada tekanan rendah, polimorfi silika dan transformasi fasa dapat terlihat pada Tabel 1 dan diagram fasa pada Gambar 2.2

Tabel 1. Polimorfi SiO₂ Pada Tekanan Rendah

Low Pressure Silica Polymorphs				
high- or β - polymorph stable at	β-Quartz 573°C - 870°C	β-Tridymite 870°C - 1470°C	β-Cristobalite > 1470°C	
metastable at	-	117°C - 870°C	270°C - 1470°C	
crystal system	Hexagonal	Hexagonal	Cubic	
Si-O-Si angle	153°	180°	151°	
low- or α - polymorph stable at	α-Quartz < 573°C	α-Tridymite -	α-Cristobalite -	
metastable at	-	< 117°C	< 270°C	
crystal system	Trigonal	Triclinic	Tetragonal	
Si-O-Si angle	144°	140°	147°	



Gambar 2.3 Diagram Fasa SiO₂ (Akhavan, 2012)

Transformasi quartz α – quartz β yang terjadi pada temperatur 573°C terjadi cepat dan reversibel, sedangkan transformasi lainnya sangat lambat

sehingga dibutuhkan waktu yang panjang untuk mencapai kesetimbangan. Oleh karena laju perubahan antara fasa-fasa SiO₂ sangat lambat, maka fasa metastabil sering terjadi. Misalnya selama pendinginan, kristobalit β menjadi kristobalit α , tridimit β menjadi tridimit α dibandingkan menjadi bentuk quartz yang seimbang (Suasmoro, 2000).

Penelitian lain juga telah dilakukan mengenai transformasi fasa SiO₂ pada enam variasi perbedaan temperatur sampai 1400°C dengan pengujian menggunakan difraksi sinar-X. Pada temperatur 1200°C diperoleh kristal quartz berubah menjadi kristobalit β , dimana fasa SiO₂ amorf terbentuk pada temperatur 400 sampai 900°C dan pengintian kristobalit terjadi pada temperatur 1050°C. Oleh karena itu, sebagai hasilnya ketika fasa quartz berkurang maka fasa kristobalit akan bertambah. Pertumbuhan puncak intensitas kristobalit sangat cepat terjadi pada temperatur 1100°C dan 1200°C dan transformasi hampir lengkap dicapai pada temperatur 1400°C. Kehadiran tridymite ketika perbedaan pemanasan material SiO₂ perlu diperhatikan. Lebih dari 40 percobaan perbedaan pemanasan untuk mempelajari hal tersebut, namun tidak satupun yang menunjukkan kehadiran perubahan fasa tridymite diamati. Tridymite tidak teridentifikasi sebagai fasa transisi mineral dalam sistem silika, seperti ditunjukkan pada transformasi polimorfi SiO₂ (Wahl, et al., 1961) berikut:



Kehadiran “fasa” tridymite tidak biasa dipelajari dengan satu komponen sistem SiO₂, pada kenyataannya modifikasi ini tidak pernah disintesis di laboratorium tanpa menggunakan “mineralizers” yang mana diperkenalkan sebagai ion asing pada sistem dan memerlukan pembelajaran yang lebih rumit (Florke, 1955).

2.2 Polianilin (PANi)

Polimer adalah molekul raksasa atau makromolekul. Suatu polimer terbuat dari ribuan satuan berulang dari ukuran kecil yang disebut monomer. Polimer alamiah mencakup protein (seperti serat sutra, serat otot, dan enzim), polisakarida (pati dan selulosa), karet, dan asam-asam nukleat. Selain itu

terdapat pula polimer sintesis seperti poliester, poliakrilat atau polipropilena (Fessenden & Fessenden, 1986). Tetapi secara umum, baik polimer alami maupun sintesis bersifat isolator sehingga banyak diaplikasikan sebagai pelindung alat-alat listrik. Bahan polimer padat mengandung molekul yang sangat panjang yang mana antara molekulnya terikat secara kovalen dengan sangat kuat (strong covalent bonds), tetapi juga muncul ikatan Van Der Waals yang lemah secara alami. Tiap rantai mengandung sangat banyak (beberapa bahkan mencapai 10^5 atau lebih) dari unit identitas kecil atau sejumlah kecil unit yang berikatan berulang secara bersamaan. Tiap unit dapat dipandang sebagai molekul yang terpisah dengan keadaan elektronik berupa orbit molekular dari tiap molekul. Salah satu cara peningkatan konduktivitas bahan polimer adalah dengan membentuk keadaan elektronik tereksitasi dari tiap orbit molekular berupa keadaan overlap dari pita energinya (Mort & Pfister, 1982). Teknik lainnya yang dapat dilakukan adalah menambahkan bahan tertentu pada bahan polimer (mendopan), sehingga konduktivitas listrik tidak timbul dari polimer tersebut, tetapi berasal dari sisipan fasa kedua yang bersifat konduktor (Van Vlack, 1984). Beberapa bahan polimer ternyata dapat meningkat konduktivitasnya tanpa pendopongan. Konduktivitas bahan polimer ini bergantung pada jumlah pengulangan unit polimer yang nilainya semakin meningkat sebanding dengan meningkatnya jumlah unit pengulangannya, sebagai contoh cincin phenylene pada kasus poliphenylenes. Tetapi juga diketahui bahwa kondisi penyiapan dapat membantu peningkatan konduktivitas dari beberapa bahan. Dari beberapa penelitian diketahui bahwa pengubahan unit phenylenes dengan unit diyl thiophene pada polyarylene vinylenes memberikan perubahan konduktivitas dari $10^{-14} \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ menjadi $10^{-7} \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Sebaliknya, penurunan konduktivitas diketahui terjadi pada unit phenylenes yang diganti dengan unit thiadiazole diyl dari $10^{-14} \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ menjadi $10^{-20} \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (Mort & Pfister, 1982). Penelitian lain mengenai polimer konduktif intrinsik dilaporkan pada tahun 1977, bahwa poliasetilen dapat meningkat drastis konduktivitas listriknya setelah diberikan doping asam kuat. Dibandingkan dengan bahan polimer konvensional yang diberi pengisi (filler) bahan metalik, bahan polimer konduktif intrinsik mempunyai

konduktivitas listrik yang lebih tinggi. Konduktivitas polimer konduktif intrinsik meningkat dari $10^{-10} \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ menjadi $10 \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, sedangkan bahan polimer konvensional polietilen dengan pengisi Cu sampai 20% berat peningkatan konduktivitas yang dialami hanya kurang dari $10^{-11} \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ menjadi $10^{-8} \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Pembuatan polimer konduktif dilakukan dengan menggunakan metode-metode sebagai berikut:

1. Proses polimerisasi maupun doping dilakukan secara kimiawi.
2. Proses polimerisasi dilakukan secara kimiawi, sedangkan proses doping dilakukan secara elektrokimia.
3. Proses polimerisasi maupun doping dilakukan secara elektrokimia (Umi, 2007).

Polianilin merupakan salah satu jenis polimer konduktif yang memiliki beberapa keunggulan dibanding polimer konduktif lainnya (D.C. Trivedi, 1997). PANi memiliki aspek kestabilan di udara yang paling baik di antara bahan polimer yang selama ini dikenal. Faktor inilah yang memungkinkan PANi sebagai bahan berpotensi tinggi untuk produksi komersil (Asrori, 2000). Faktor lain yang menarik dari PANi yaitu mempunyai sifat listrik, sifat optik, sifat kimia yang menarik sehingga sering digunakan untuk substrat modifikasi permukaan (Aboutanos et al., 1999).

Polianilin sebenarnya telah ditemukan 150 tahun yang lalu dalam bentuk monomer anilin melalui sebuah proses destilasi secara kimia dan dinamakan “*Crystallin*” karena bentuknya yang berupa garam kristalin dengan asam sulfur dan fosfor. Pada tahun 1840, Fritzsche juga menemukan minyak bening yang kemudian disebut anilin. Beberapa orang meyakini bahwa ini adalah laporan pertama dari polianilin, sekalipun laporan resminya baru muncul pada 1862 (www.wikipedia.com). Polianilin sendiri merupakan bahan polimer yang terbentuk dari pengulangan unit kimia monomer-monomer anilin ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$). Dalam polianilin, penggabungan dari monomer-monomer anilin tersebut membentuk cincin-cincin benzoid dan quinoid yang dihubungkan satu dengan yang lainnya oleh atom nitrogen melalui ikatan amin dan imin. Berdasarkan tingkat oksidasinya, struktur molekul PANi terdiri dari tiga, yaitu *Leucoemeraldine Base* ($y = 1$, LEB), *Emeraldine Base* ($y = 0.5$, EB) dan

Pernigraniline Base ($y = 0$, PNB). Ketiga bentuk molekul Polianilin tersebut pertama kali dipelajari menggunakan spektrum NMR ^{13}C . Konduktivitas dari polimer konduktif mempunyai rentang dari insulator sampai konduktor. Konduktivitas dari polimer konduktif meningkat seiring peningkatan konsentrasi doping. (MacDiarmid, 2000). Konduktivitas PANi sangat dipengaruhi oleh pH. Dalam kondisi asam, polimer doping asam menjadi konduktif, dan jika berada dalam kondisi yang pH tinggi PANi berubah menjadi isolator (*Emeraldine Base*) (Hardaker et. al., 1999). PANi-EB dapat menjadi konduktif melalui reaksi non-redoks, yaitu protonasi melalui doping dengan asam kuat seperti *dodecylbenzenesulphonic acid* (DBSA) untuk menghasilkan garam Emeraldin (Tsotra, et. al., 2004). Struktur garam Emeraldin dapat dilihat dalam Gambar 2.4. DBSA selain berperan sebagai doping juga berperan sebagai surfaktan (Han et. al., 2009). Proses protonasi ini menghasilkan cacat rantai, sehingga terdapat bipolaron yang dapat menghantarkan arus listrik (Rochimah, 1995). Proses protonasi basa emeraldin menyebabkan PANi berada pada level semikonduktor (100 S cm^{-1}), dimana mempunyai konduktivitas lebih tinggi dari polimer pada umumnya ($<10^{-9} \text{ S cm}^{-1}$), tetapi lebih rendah dari logam ($>10^4 \text{ S cm}^{-1}$) (Stejskal et al., 2002).



Gambar 2.4 Struktur PANi Dalam Bentuk Garam Emeraldin

Penelitian telah dilakukan mengenai sintesis dan karakterisasi PANi yang memperlihatkan bahwa struktur PANi yang sangat berpori (*highly porous*). Karakterisasi XRD (Gambar 2.5 (a)) menunjukkan pola difraksi PANi terdapat tiga puncak difraksi pada sudut $2\theta = 14,5^\circ$, $19,6^\circ$, dan $25,5^\circ$. Pola difraksi ini mengidentifikasi struktur kristal semikristalin PANi (Li et al., 2006). Gambar 2.5 (b) memperlihatkan spektrum transmitansi inframerah sampel polianilin dengan pita-pita absorpsi karakteristik yang bersesuaian dengan gugus fungsional polianilin. Pada mekanisme doping polianilin ini terjadi proses penarikan dan pelepasan proton. Pada proses ini jumlah proton yang

terdapat pada larutan asam yang digunakan mempengaruhi nilai konduktivitasnya. Hal ini memberikan nilai yang berbeda untuk tiap-tiap jenis asam dan pH asam yang digunakan untuk proses pendopingan. Proses protonasi berlangsung ketika larutan asam terionisasi menjadi ion H^+ dan A^- . Dengan adanya pasangan elektron yang tak berikatan ($2s^2$) dari atom N pada gugus teroksidasi, maka ion H^+ akan cenderung bergabung dengan atom N tersebut. Hal ini mengakibatkan atom N hanya memiliki satu elektron yang dinamakan kation radikal. Kation radikal ini memiliki muatan positif, sehingga dopan A^- yang berasal dari larutan asam akan ditarik untuk berpasangan dengan kation radikal tersebut melalui ikatan coulomb untuk mempertahankan kenetralan elektronik dalam rantai polimer tersebut (Rochimah, 1995). Dalam bahasa zat padat, hal ini disebut bipolaron. Masuknya dopan melalui proses protonasi merupakan suatu keunikan yang tidak dimiliki oleh polimer konduktif lain. Dalam proses ini jumlah elektron di dalam rantai tidak berubah, sedangkan pada proses doping polimer lainnya disertai perubahan jumlah elektron pada rantai polimer (Umi, 2007). Proses polimerisasi polianilin merupakan proses polimerisasi adisi. Pada proses ini inisiator digunakan sebagai sumber radikal bebas untuk mengawali polimerisasi polianilin. Senyawa inisiator yang digunakan adalah Amonium Peroksidisulfat $(NH_4)_2S_2O_8$.

Polimerisasi polianilin pada tingkat oksidasi emeraldin terjadi melalui dua mekanisme, yaitu:

Mekanisme I :

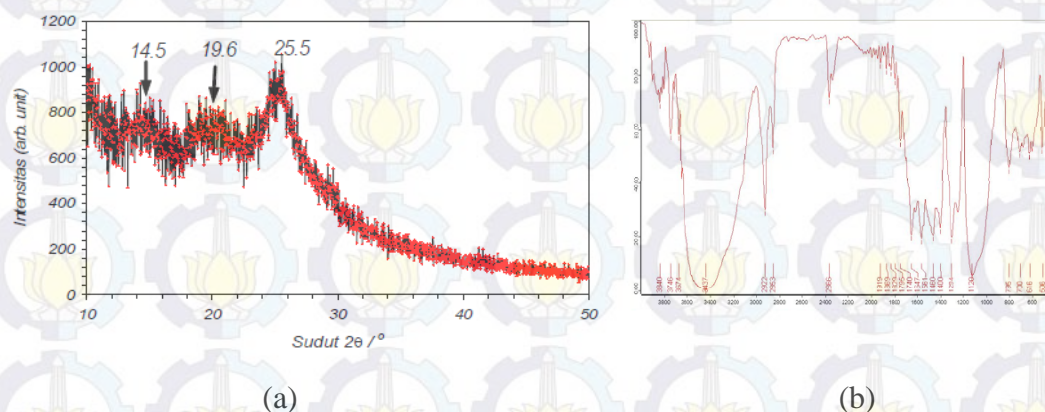


Mekanisme II :



Pada mekanisme I, anilin mengalami polimerisasi oksidatif dengan menggunakan media campuran amonium peroksidisulfat dan asam klorida. Mekanisme ini menghasilkan pernigranilin. Konsentrasi amonium peroksidisulfat berkurang pada mekanisme pertama, sehingga pada mekanisme II pernigranilin berfungsi sebagai oksidator yang mengoksidasi sisa anilin

menjadi emeraldin. Secara khusus pernigranilin mengalami proses reduksi yang juga menghasilkan emeraldin. Jadi, emeraldin produk polimerisasi dihasilkan dari pernigranilin yang tereduksi dan pengoksidasian anilin oleh pernigranilin (Asrori, 2000).



Gambar 2.5 (a) Pola difraksi sinar-X dan (b) Spektra Transmittans FTIR sampel PANi.

2.3 Sifat Anti Korosi

Definisi dari korosi adalah penurunan mutu material akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungan sekitar. Bila ditinjau dari interaksi yang terjadi, korosi adalah proses transfer elektron dari logam ke lingkungannya. Logam bertindak sebagai sel yang memberikan elektron (anoda) dan lingkungan bertindak sebagai penerima elektron (katoda). Penurunan mutu yang diakibatkan interaksi secara fisik bukan disebut korosi, namun biasa dikenal sebagai erosi dan keausan. Dengan reaksi ini sebagian logam akan “hilang”, menjadi suatu senyawa yang lebih stabil. Di alam, logam pada umumnya berupa senyawa, karena itu peristiwa korosi juga dapat dianggap sebagai peristiwa kembalinya logam menuju bentuk semula sebagaimana ia terdapat di alam. Hal ini merupakan kebalikan dari proses *extractive metallurgy*, yang memurnikan logam dari senyawanya. Dalam hal ini, korosi mengakibatkan kerugian karena hilangnya sebagian hasil usaha manusia memurnikan logam (www.wikipedia.org)

Laju korosi adalah besaran yang menyatakan mudah atau tidaknya suatu material berinteraksi dengan lingkungannya. Metode yang sering digunakan untuk menentukan laju korosi adalah metode kehilangan massa, dengan mengukur perbedaan massa awal sebelum pengujian dengan massa akhir setelah pengujian korosi. Laju korosi dalam logam dapat dihitung dengan melibatkan variabel waktu, massa yang hilang, luas permukaan yang tidak dilindungi, dan kerapatan atau massa jenis logam. Laju korosi biasanya dinyatakan dalam mil per tahun (mpy) dengan perumusan sebagai berikut:

$$\text{Laju Korosi (mil per year)} = \frac{534 \times W_L}{\rho \times A \times T} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

W_L = massa yang hilang / *weight loss* (mg)

ρ = massa jenis logam / *density* (gr/cm³)

A = luas permukaan spesimen (inchi²)

T = waktu pencelupan (jam)

Massa yang hilang dalam pengujian merupakan massa dari produk korosi, nilai ρ dipengaruhi oleh jenis bahan yang digunakan, luasan (A) adalah luas permukaan bahan yang mengalami pengujian korosi, sedangkan waktu (T) menunjukkan lamanya pengujian korosi yang dilakukan. Suatu bahan dapat dikatakan tahan terhadap korosi bila laju korosinya lebih kecil dari 50 mpy. Laju korosi merupakan besaran yang menyatakan mudah atau tidaknya suatu material berinteraksi dengan lingkungannya (Fontana, 1986).

Penelitian sebelumnya pernah dilakukan pada penggunaan komposit PANi/BaM-SiO₂ sebagai pelapis anti korosi dikarenakan komposit tersebut terdiri dari dua material keramik berupa BaM dan SiO₂ yang mempunyai ketahanan korosi yang tinggi (Saadatjoo et al., 2012). Komposit PANi/SiO₂ dapat berperan aktif dalam mencegah aliran-aliran elektrolit yang dapat merusak bahan logam akibat aspek korosif. Dalam hal ini, peran aktif SiO₂ dalam komposit PANi/SiO₂ yaitu mempunyai kapasitas panas yang tinggi dan dapat menghalangi pergerakan ion-ion pengorosisif. Ion-ion pengorosisif yang memiliki muatan negatif akan berikatan terlebih dahulu dengan muatan diam

SiO_2 akibat pengutuban yang terjadi karena adanya kepolaran yang dimiliki SiO_2 (Silvia, 2013).

Struktur dari silika sangat menentukan sifat kepolarannya. Struktur *cristobalite* yang cenderung mendominasi struktur silika bersifat metastabil dan memiliki kepolaran (Hartiningsih., 2013). Kepolaran suatu material berhubungan dengan simetri molekul. Semakin tidak simetri semakin tidak seimbang momen dipolnya yang berakibat pada proses pengutuban. Sehingga ion negatif akan diikat terlebih dahulu ke dalam muatan positif silika, yang artinya proses korosi yang seharusnya merusak bahan terlapis akan terhindar (Silvia, 2013). Yang menjadi kendala selanjutnya adalah sifat PANi yang lemah terhadap suhu tinggi, PANi mudah rusak ketika terkena sinar ultraviolet maupun sinar inframerah. Perpaduan antara PANi/ SiO_2 diharapkan akan mengurangi transfer panas dari lingkungan karena tingginya konduktifitas panas dari silika. Penambahan PANi juga berperan aktif dalam hal perlindungan terhadap korosi. PANi berfungsi sebagai lapisan pasif karena terjadinya reaksi redoks antara logam dan lapisan PANi. Mekanisme perlindungan logam dengan lapisan PANi yaitu terjadi ketika elektron yang dilepaskan oleh logam pada daerah yang cacat atau lubang mengalir ke PANi. Pada lapisan PANi terjadi reaksi reduksi oksigen, terjadi ketika oksigen yang terlepas bereaksi dengan H_2O sehingga menjadi 4OH^- dan menjadikan media netral, dimana PANi yang bersifat konduktif berubah menjadi PANi yang bersifat tidak konduktif karena berada dalam lingkungan asam. Perlindungan berganda akan didapatkan jika menggabungkan silika dengan PANi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Peralatan dan Bahan

3.1.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah:

1. Pasir silika Pantai Bancar, Tuban
2. NaOH 99%
3. HCl 37%
4. Alkohol 96%
5. Anilin ($C_6H_5NH_2$) 99,5% (PA)
6. Amonium Peroksidisulfat ($(NH_4)_2S_2O_8$) 98% (PA)
7. *Dodecylbenzene Sulfonic Acid* (DBSA)
8. Aseton
9. Aquades
10. Plat baja SS304
11. Cat

3.1.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *planetary ball mill* dengan bola zirconia sebagai penghancur partikel, oven, neraca digital, aluminium foil, pengaduk magnetik (*magnetic stirrer*), kertas saring, kertas pH, Spektrometer *X-Ray Fluorescence* (XRF), Difraktometer Sinar-X (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), Spektrometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR), Potensiostat.

3.2 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam skema penelitian Gambar 3.2 sebagai berikut.

3.2.1 Proses Preparasi Pasir Alam

Pasir alam didapatkan dari Pantai Bancar, Tuban, Jawa Timur. Pasir alam tersebut dicuci menggunakan aquades untuk menghilangkan pengotor yang

terlihat secara kasat mata, sehingga pasir alam tersebut tidak terkontaminasi oleh unsur-unsur yang tidak diinginkan. Pasir dikeringkan menggunakan oven dengan temperatur 150°C selama delapan jam untuk menghilangkan kandungan air. Hasil pencucian diuji dengan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui unsur-unsur yang ada di dalam pasir alam tersebut.

3.2.2 Proses Reduksi Ukuran Partikel

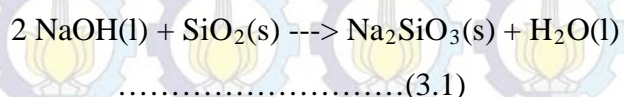
Proses reduksi ukuran partikel dengan cara *wet milling* dengan *ball milling* kecepatan 150 rpm selama sepuluh jam. Pasir hasil *ball milling* dikeringkan dengan lampu dengan temperatur sekitar 50°C selama lima jam.

3.2.3 Leaching

Pasir yang telah berubah menjadi serbuk direndam ke dalam larutan HCl 2M selama 12 jam dengan maksud semua pengotor dapat terpisahkan dari silika. Hasil rendaman dicuci sebanyak lima kali dengan aquades dan disaring menggunakan kertas saring sebagai filternya. Hasil rendaman tadi dikeringkan pada suhu 50°C dan dihasilkan mikrosilika.

3.2.4 Pencampuran SiO₂ dan NaOH

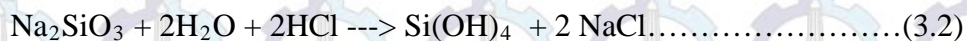
Serbuk mikrosilika dilarutkan ke dalam larutan NaOH dengan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan skala 7 dan temperatur 300°C hingga benar-benar kering. Konsentrasi NaOH yang digunakan adalah 7M. Tahap ini adalah proses hidrotermal. Hasil dari proses hidrotermal dilarutkan kembali dengan 200 ml aquades dan disaring menggunakan kertas saring sehingga didapatkan prekursor *sodium silicate* (NaSiO₃).



3.2.5 Kopresipitasi

Larutan yang tersaring dikopresipitasi melalui proses titrasi dengan meneteskan larutan HCl 2M. Proses titrasi dilakukan sampai terjadi perubahan pH larutan. Dari semula antara 13-14 sampai menjadi 7. Pada tahap ini, gel akan terbentuk. Larutan yang awalnya cair dan bening berubah menjadi putih, keruh, dan kental karena terbentuk gel. Sampel dibiarkan mengendap minimal

selama 24 jam. Sampel yang telah terendap dicuci sebanyak 15 kali dengan masing-masing pencucian diperlukan aquades sebanyak 200 ml. Pengadukan dilakukan secara manual selama dua menit setiap prosesnya dengan tujuan untuk menghilangkan kandungan garam NaCl dalam produk yang dihasilkan. Garam terbentuk muncul karena adanya reaksi kimia antara NaOH dan HCl. Sampel dikeringkan dengan temperatur 50°C.



3.2.6 Sintesis Komposit PANi/SiO₂

Sintesis PANi dilakukan dengan menggunakan metode Polimerisasi *In-situ*. Anilin dan DBSA dilarutkan dalam aquades dan distirer selama 30 menit. Ditambahkan serbuk SiO₂ sambil diaduk sampai homogen. Larutan SiO₂, Anilin, dan DBSA didinginkan pada suhu 0°C. Polimerisasi dimulai dengan menambahkan larutan inisiator (larutan *Amonium Peroxodisulfate*). Polimerisasi dilakukan selama delapan jam. Setelah polimerisasi selesai, larutan dicuci dengan aseton dan aquades sampai air pencucinya bening dan disaring untuk mendapatkan serbuk PANi/SiO₂.

3.2.7 Pelapisan Komposit Anti Korosi

Komposit PANi-SiO₂ dicampurkan ke dalam cat logam dengan cara *mechanical mixing* menggunakan *mixer* berkecepatan 3000 rpm selama 10 menit sampai homogen. Kemudian cat tersebut dilapiskan pada plat baja yang akan dikarakterisasi dengan cara *spray*.

3.3 Karakterisasi Material

3.3.1 X-Ray Fluorescence (XRF)

Pasir alam dari Pantai Bancar diuji XRF di awal untuk mengetahui kemurniannya. Pasir silika diuji karakterisasi dengan XRF untuk membandingkan unsur yang terkandung dalam pasir sebelum dan setelah *leaching*.

3.3.2 X-Ray Diffraction (XRD)

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui komposisi fasa yang terkandung di dalam material. Pada penelitian ini, pengujian XRD dilakukan pada pasir alam pantai Bancar dan SiO₂.

3.3.3 Uji SEM

Uji karakterisasi sampel menggunakan SEM untuk memastikan ukuran partikel yang sebenarnya dan dengan fasilitas EDX dapat diketahui topografi dari sampel.

3.3.4 Uji FTIR

FTIR adalah alat yang umum digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi senyawa organik dengan mengukur frekuensi vibrasi molekul dengan sinar infra merah. Pada penelitian ini digunakan pengujian FTIR untuk mengetahui terbentuknya komposit PANi/SiO₂.

3.3.5 Uji Ketahanan Korosi

Potensiostat merupakan peralatan yang digunakan pada penelitian elektrokimia untuk mengamati fenomena yang terjadi selama proses korosi terjadi. Peralatan potensiostat biasanya dilengkapi dengan tiga jenis elektroda yaitu: elektroda kerja (*working electrode*), elektroda bantu (*auxiliary electrode*), dan elektroda acuan (*reference electrode*). Proses uji ketahanan korosi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode sel tiga elektroda dengan bantuan *software* NOVA versi 1.8 yang dilakukan di Laboratorium Elektrokimia – Jurusan Teknik Kimia FTI ITS. Media korosi menggunakan larutan NaCl 3.5%. Laju korosi (mpy) dinyatakan dengan persamaan:

$$R \text{ (mpy)} = 0.129 \frac{EW \times I_{corr}}{D} \dots\dots\dots (3.4)$$

Dimana R = laju korosi (mpy)

EW = berat ekuivalen (gram)

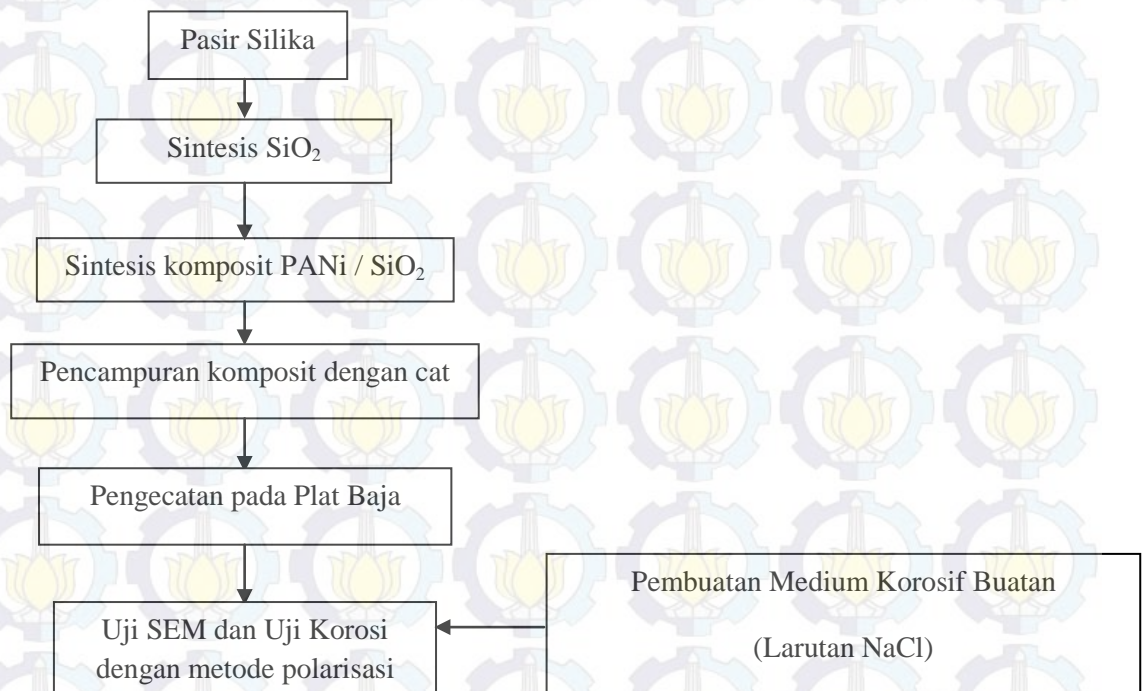
I_{corr} = arus korosi ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

D = densitas (g/cm^3)



Gambar 3.1 Seperangkat Peralatan Potensiostat

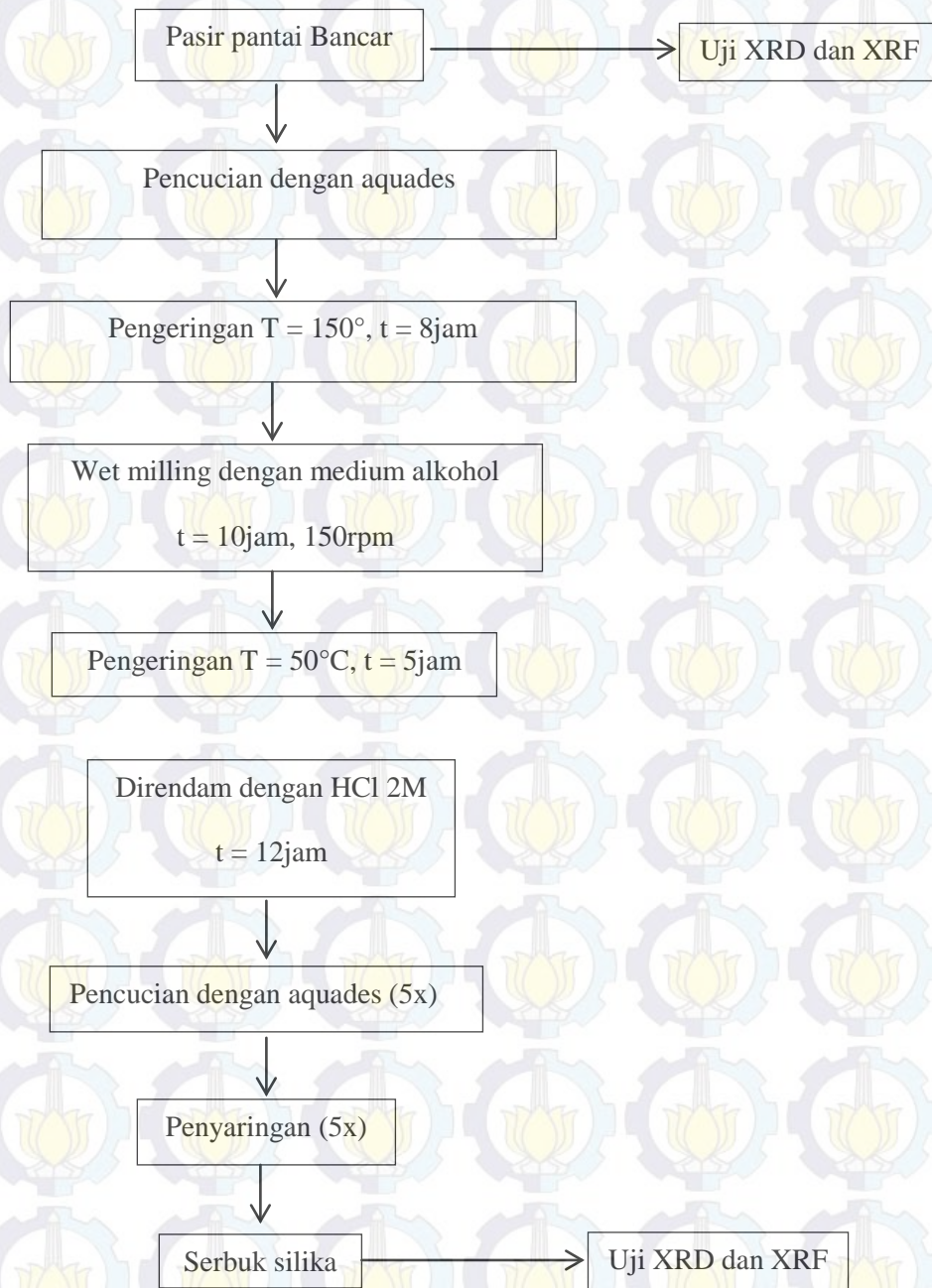
3.4 Skema Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

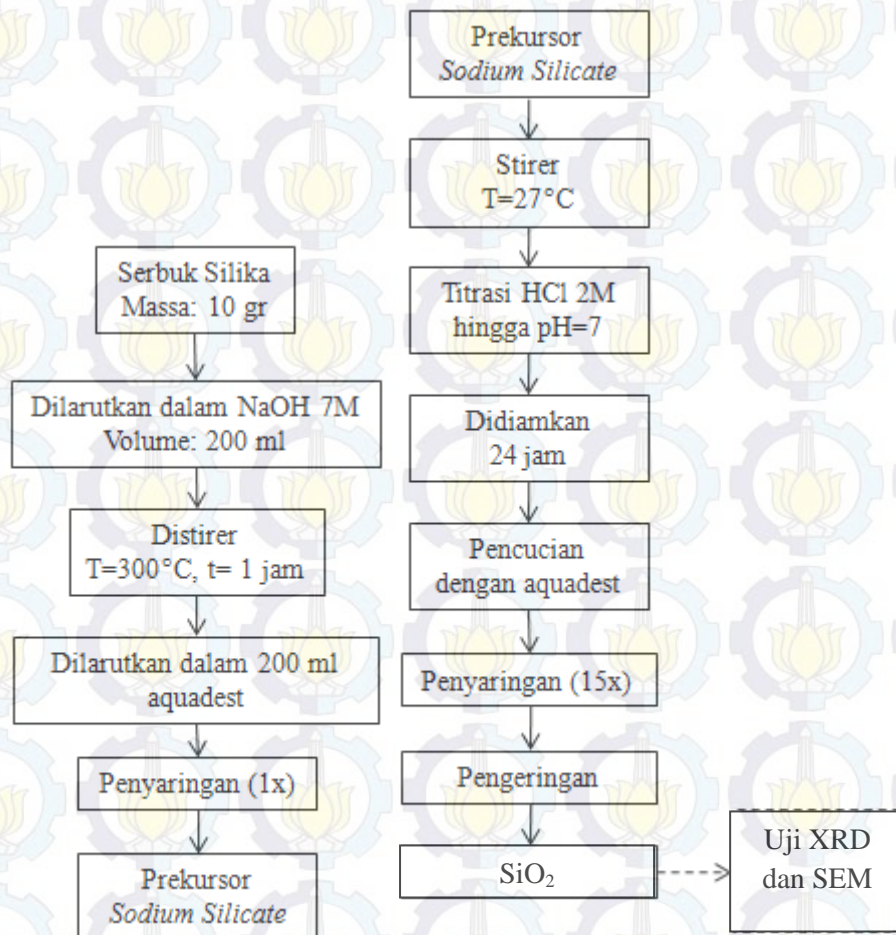
Langkah-langkah yang lebih rinci dapat dilihat pada Gambar 3.3 sampai 3.5.

3.4.1 Preparasi Pasir Silika



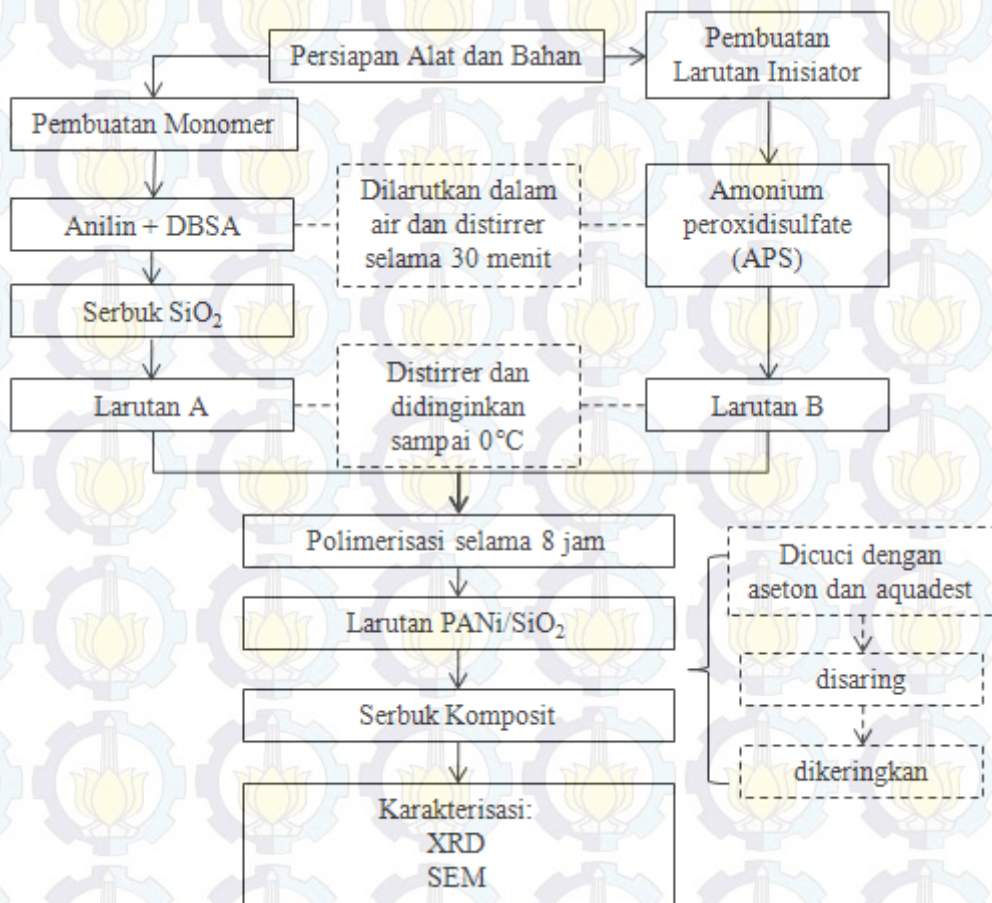
Gambar 3.3 Diagram Alir Preparasi Pasir Silika

3.4.2 Sintesis Silika



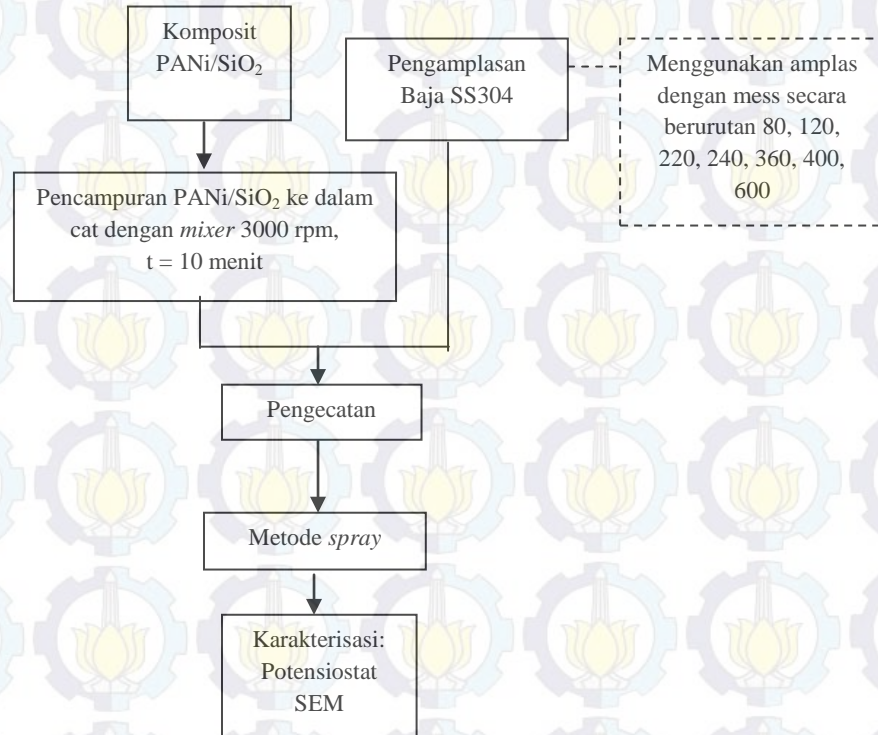
Gambar 3.4 Diagram Alir Sintesis Silika

3.4.3 Sintesis Komposit PANi/SiO₂



Gambar 3.5 Diagram Alir Sintesis Komposit PANi/SiO₂

3.4.4 Skema Pengecatan



Gambar 3.6 Diagram Alir Proses Pengecatan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil XRD dan XRF Pasir Bancar

4.1.1 Hasil XRF Pasir Bancar

Silika yang digunakan dalam penelitian ini merupakan Silika yang diekstraksi dari bahan alam. Bahan alam dipilih karena lingkungan sekitar kita sangat melimpah dengan bahan alam yang mengandung Silika, salah satunya adalah pasir Silika. Pasir Silika yang dipakai adalah pasir silika dari Pantai Bancar. Untuk memastikan unsur yang terkandung dalam pasir Silika pantai Bancar secara tepat perlu dilakukan karakterisasi menggunakan XRF. Berdasarkan uji XRF, kandungan yang terbanyak adalah silikon, kalsium, dan besi. Berikut adalah hasilnya.

Tabel 4.1 Komposisi unsur serbuk pasir sebelum *leaching*.

No	Content	%wt
1	Si	71,50
3	Ca	22,80
4	Ti	0,53
8	Fe	3,57
11	Sr	0,45

Terlihat dalam Tabel 4.1 di atas bahwa unsur yang mendominasi adalah Si dengan persentase 71,50%, sedangkan unsur lain berkisar antara 0,01% sampai 22,8% saja. Kandungan Si dalam pasir pantai Bancar sangat tinggi sehingga sesuai untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan Silika.

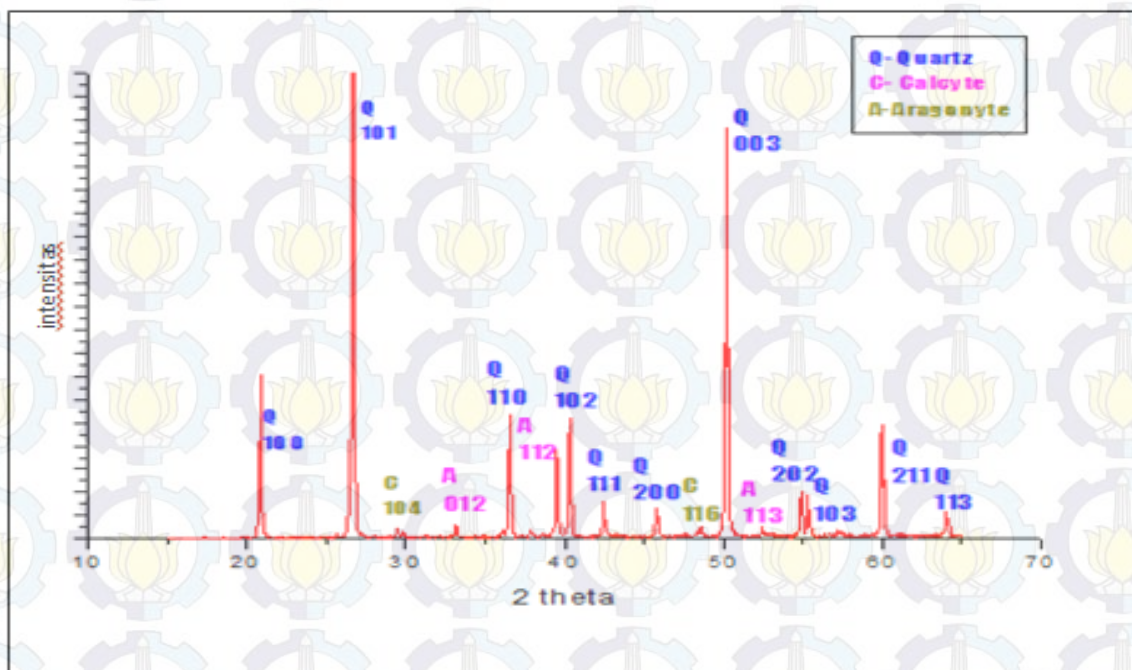
Meskipun bahan pasir Bancar memiliki kandungan Si yang tinggi, bahan pasir alam ini masih memiliki pengotor yang harus dibersihkan. Hasil pemurnian sebagaimana skema Gambar 3.3 diuji kembali menggunakan XRF. Hasilnya tersaji dalam data Tabel 4.2. Berdasarkan Tabel 4.2 terlihat bahwa pasir yang telah mengalami proses pemurnian mengandung Si sebanyak 92,22 % dan 7,88% sisanya adalah pengotor. Hasil ini membuktikan bahwa HCl

mampu melarutkan hampir semua bahan pengotor. Sampai pada tahap ini Silika siap direduksi ukurannya sampai dengan skala nanometer.

Tabel 4.2 Komposisi unsur serbuk pasir setelah *leaching*.

No	Kandungan	%
1	Si	92,22
2	Fe	1,54
3	Ca	1,68

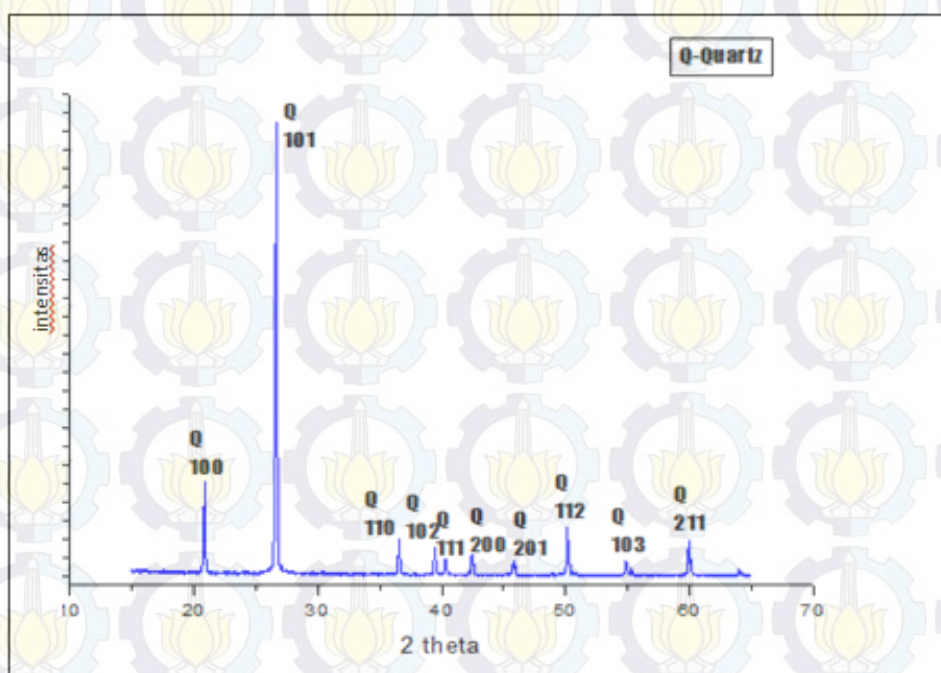
4.1.2 Hasil XRD Pasir Bancar



Gambar 4.1 Hasil Pola Difraksi Pasir Bancar, Tuban.

Untuk mempertegas hasil karakterisasi XRF, dilakukan uji XRD untuk mengetahui senyawa dan fasa yang ada dalam pasir sebelum dan sesudah proses pemurnian. Pola difraksi sinar-X yang diperoleh, kemudian dianalisis secara kualitatif menggunakan *software High Score Plus* (HSP). Gambar 4.1 di atas merupakan hasil analisa dengan menggunakan *software High Score Plus* (HSP) dari pola difraksi sinar-X Pasir Bancar sebelum mengalami proses

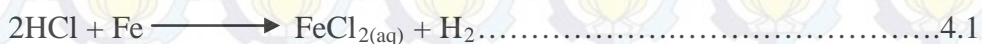
pemurnian. Dari data yang dianalisa tersebut, terdapat 19 puncak. Pengujian karakter ini dilakukan pada rentang sudut $2\theta = 15^\circ - 65^\circ$. Dari analisa data dengan HSP, dapat diketahui komposisi fasa secara kualitatif. Pasir Pantai Bancar di awal, sebelum dikenai perlakuan apapun, mengandung tiga fasa, yakni SiO_2 *quartz*, CaCO_3 *aragonite*, dan $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ *calcite*. Puncak tertinggi ditemukan pada sudut $26,7^\circ$ dengan intensitas 3966,3 *counts* milik SiO_2 .



Gambar 4.2 Hasil analisa pola difraksi pasir setelah *leaching*.

Terlihat pada Gambar 4.2 di atas, hasil analisa pola difraksi pasir setelah *leaching*, setelah proses pemurnian sejumlah pengotor hilang dengan fasa yang tersisa hanya SiO_2 *quartz*. Terjadi perubahan pola difraksi antara pasir pada keadaan awal dan setelah *leaching*. Dalam keadaan alami, sampel mempunyai 19 puncak kristal. Sementara, setelah direndam dalam larutan HCl, puncak kristal berkurang dari 19 menjadi 15 puncak. Dan puncak tertinggi dari pola difraksi serbuk setelah direndam di dalam larutan HCl 2M ditemukan pada sudut $2\theta = 26,7^\circ$ dengan intensitas 6020,5 *counts*. Fakta ini menunjukkan bahwa larutan HCl terbukti mampu menghilangkan pengotor-pengotor selain SiO_2 , sehingga hanya menyisakan fasa tunggal SiO_2 *quartz*.

Reaksi yang terjadi ketika pengotor dicuci dengan menggunakan HCl adalah sebagai berikut:



$\text{FeCl}_{2(\text{aq})}$ dan $\text{CaCl}_{(\text{aq})}$ semuanya larut dalam air dan tidak tersisa ketika disaring.

4.2 Hasil Pembuatan SiO_2 Amorf

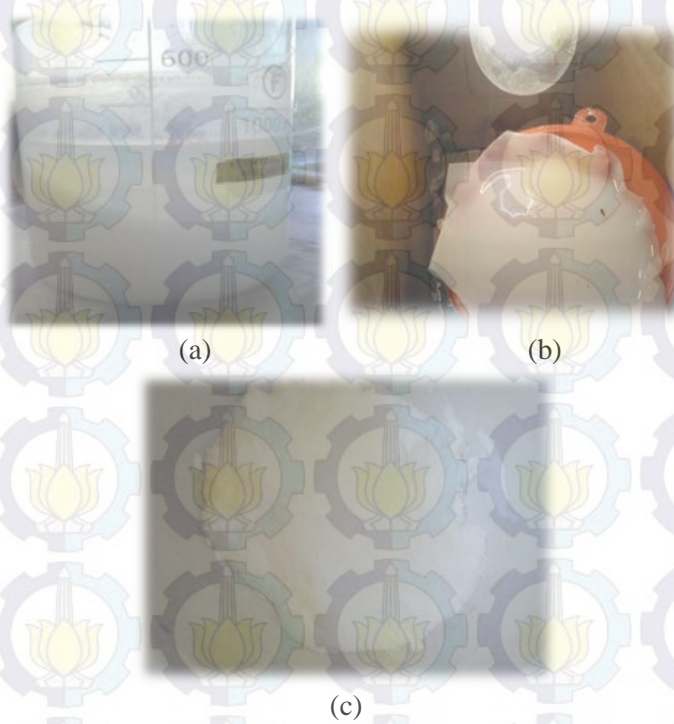
Pencampurannya SiO_2 dengan NaOH pada skema Gambar 3.4 merupakan tahap awal pengionan masing masing penyusun SiO_2 menjadi bentuk senyawa lain, yakni larutan NaSiO_3 dan H_2O seperti pada Gambar 4.3.



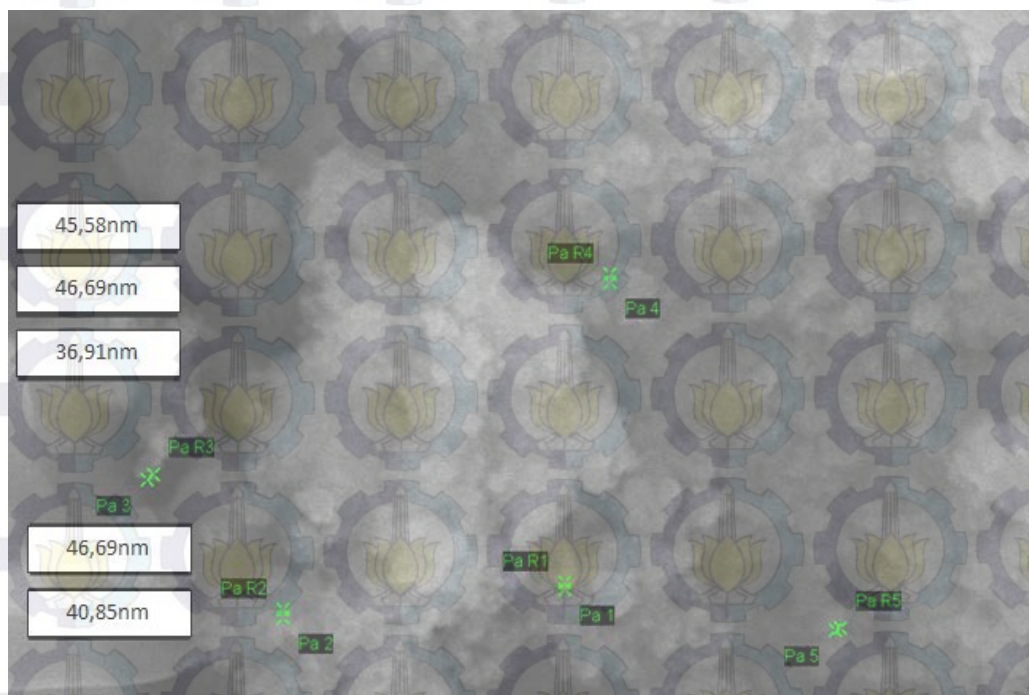
Gambar 4.3 larutan NaSiO_3 dan H_2O

Tujuan akhir dari pengionan ini adalah pembentukan ulang SiO_2 dalam ukuran yang lebih kecil. Di bagian bawah larutan NaSiO_3 tidak dijumpai adanya endapan serbuk. Hal ini menandakan semua NaSiO_3 larut dalam air. NaSiO_3 kemudian dititrasi dengan HCl agar $\text{Si}(\text{OH})_4$ terbentuk dengan produk sampingan berupa garam NaCl.

NaCl akan larut dalam air dan menyisakan $\text{Si}(\text{OH})_4$ ketika disaring (Gambar 4.4 (b)). Hasil saringan dikeringkan dalam suhu 50°C sampai kering. Pengeringan ini bertujuan untuk menghilangkan air yang tersisa sehingga terbentuklah serbuk SiO_2 (Gambar 4.4 (c)). Untuk memastikan secara kuantitatif, serbuk SiO_2 yang terbentuk dikarakterisasi dengan SEM.

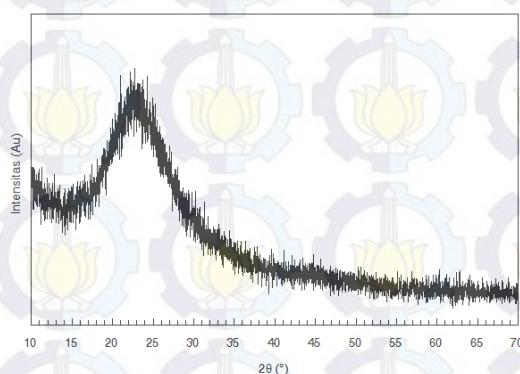


Gambar 4.4 (a) Gel Silika Setelah Proses Kopresipitasi, (b) Gel Silika Dikeringkan Pada Temperatur 50°C, (c) Serbuk Silika Amorf



Gambar 4.5 Hasil Pengamatan Morfologi SiO_2 Amorf Dengan Analisa SEM

Dalam Gambar 4.5 terlihat gumpalan-gumpalan kecil yang ukurannya lebih kecil dari 200nm. Ukuran 200nm merupakan ukuran dari gumpalan SiO_2 yang terdiri dari banyak partikel Silika. Jika dihitung secara manual didapatkan rata-rata ukuran partikel SiO_2 sekitar 40nm. Berdasarkan hasil tersebut bisa dipastikan ukuran Silika baru yang terbentuk sudah dalam orde nanometer. Sehingga tujuan awal untuk membentuk SiO_2 dalam ukuran nanometer sudah terpenuhi. Selanjutnya untuk mengetahui lebih detail fasa Silika yang terbentuk maka dilakukan karakterisasi dengan menggunakan XRD.



Gambar 4.6 Pola Difraksi Sinar-X (Radiasi $\text{Cu-K}\alpha$) dari Serbuk Silika Amorf (SA) Setelah Proses Kopresipitasi.

Berdasarkan pola yang terbentuk dalam Gambar 4.6, fasa SiO_2 yang terbentuk adalah amorf karena tidak ada puncak tajam yang terbentuk. Hasil XRD ini membuktikan bahwa telah terjadi penyusunan ulang dari SiO_2 yang berukuran mikrometer menjadi SiO_2 yang berukuran nanometer. Selain itu, terjadi pula penyusunan ulang strukturnya, yakni SiO_2 berstruktur quartz menjadi struktur amorf. SiO_2 amorf merupakan fasa Silika yang digunakan dalam perlindungan korosi penelitian ini. Sampai pada tahap ini salah satu bahan baku pengecatan sudah tersedia.

4.3 Hasil Pembuatan Komposit PANi/ SiO_2

Banyak cara yang bisa dilakukan untuk mensintesa komposit. Salah satunya adalah dengan metode *in situ*. Komposit PANi disintesa dengan menggunakan metode polimerisasi *in situ*, yakni dengan mencampurkan Silika ketika Polianilin (PANi) sedang terbentuk. Sintesis PANi/ SiO_2 dilakukan dengan beberapa perbandingan % wt PANi : SiO_2 yaitu 90:10, 80:20, 70:30. Proses polimerisasi

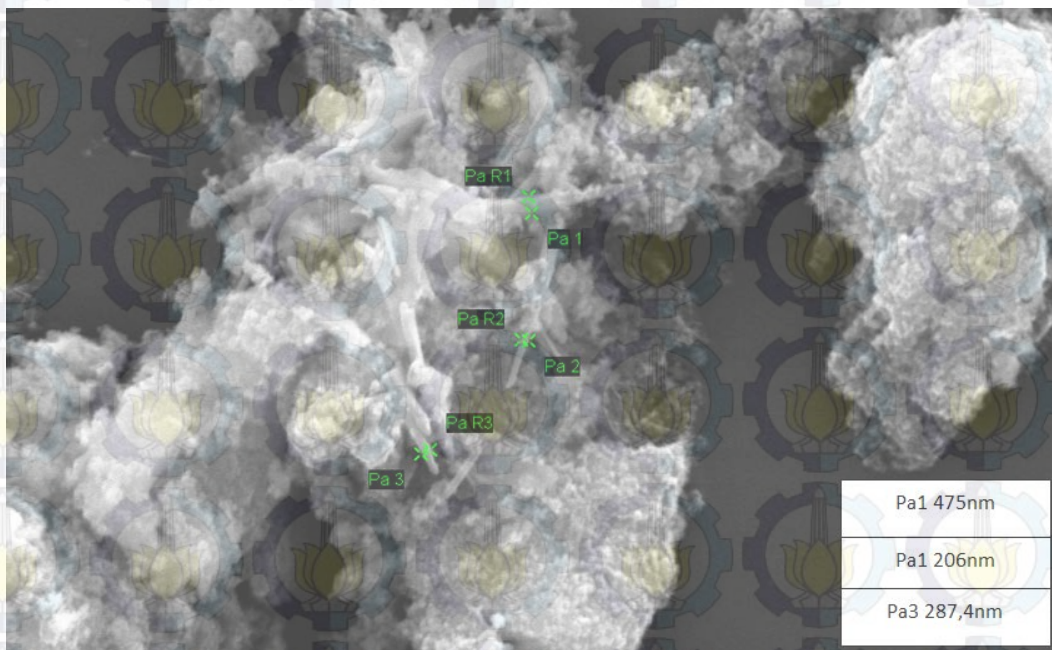
berlangsung dengan beberapa tahapan perubahan warna (Pradhana, 2009). Proses awal, Anilin dan DBSA yang dilarutkan dalam air menghasilkan warna bening hal ini mengindikasikan bahwa DBSA dan Anilin larut dalam air. Sesuai dengan skema Gambar 3.5, larutan Silika, anilin, dan DBSA didinginkan hingga temperatur 0°C.



Gambar 4.7 (a) Kondisi Awal Ketika Larutan Silika, Anilin, dan DBSA Dicampur Dengan APS, (b) Kondisi Akhir Setelah Ketika Larutan Silika, Anilin, dan DBSA Dicampur Dengan APS, (c) PANi Setelah Proses Polimerisasi, (d) PANi Setelah Disaring

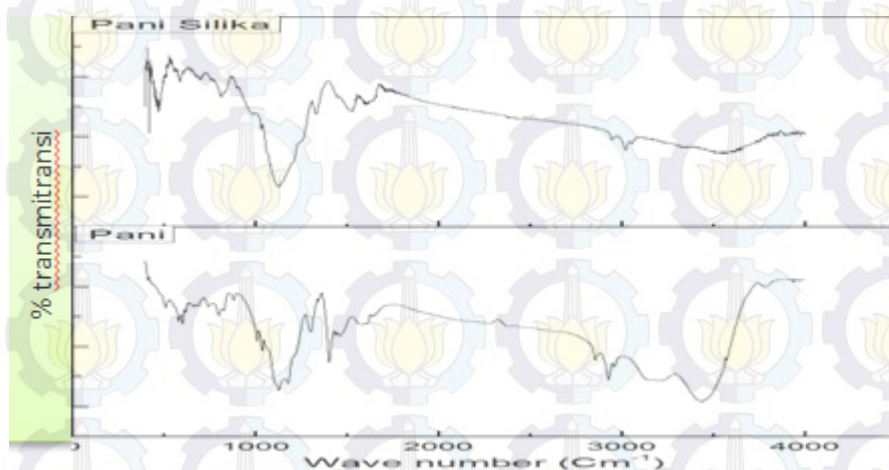
Ketika larutan inisiator pembentukan Polianilin, yaitu Amonium Peroxidisulfat $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, yang ditambah dengan aquades larutan inisiator juga berwarna bening. Ketika larutan inisiator dicampur dengan larutan pertama (larutan Silika, anilin, dan DBSA) pada suhu 0° dengan pengaduk, campuran cairan langsung berubah warna menjadi coklat muda (Gambar 4.7 (a)), dan ketika ditambah lagi, warna campuran larutan tersebut berubah menjadi hijau kecoklatan, hingga pada penambahan akhir warna larutan menjadi hijau (Gambar 4.7 (b)). Warna hijau tersebut mengindikasikan bahwa PANi mulai terbentuk (McDiarmid, 1992).

Polimerisasi dilakukan dengan mengaduk larutan pertama dan larutan inisiator selama delapan jam. Setelah delapan jam terlampaui, maka terbentuklah Polianilin (PANi). Polianilin merupakan gabungan dari anilin yang membentuk sebuah rantai panjang. Warna PANi pada akhir polimerisasi adalah hijau tua (Gambar 4.7 (c)). Gambar 4.7 (d) menunjukkan komposit setelah disaring. Setelah benar-benar kering, kemudian komposit PANi/SiO₂ dikarakterisasi dengan menggunakan SEM untuk mengetahui bentuk komposit yang terbentuk. Hasil SEM dapat dilihat dalam Gambar 4.8 di bawah.



Gambar 4.8 Hasil Pengamatan Morfologi Komposit PANi/SiO₂ Dengan SEM

Dari hasil Gambar 4.8 terlihat sebagian Silika menyisip dalam jaringan PANi yang berbentuk memanjang dengan diameter 200nm – 400nm. Hasil ini juga mengindikasikan bahwa proses komposit *in situ* telah berhasil dilakukan tanpa mengganggu proses terbentuknya PANi. Hal yang mendukung bahwa komposit telah terbentuk adalah data FTIR di bawah ini.



Gambar 4.9 Grafik Hasil Uji FTIR Polianilin dan Komposit PANi/SiO₂

Untuk mengidentifikasi jenis ikatan kimia dan struktur molekul terbentuknya komposit PANi/SiO₂, dapat dilihat pada Gambar 4.9. Gambar 4.9 menunjukkan hasil analisa FTIR (*Fourier-Transform Infrared*). Bilangan gelombang yang

muncul pada pengujian spektroskopi FTIR ini, kemudian dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya.

Tabel 4.3 Bilangan Gelombang komposit PANi/SiO₂

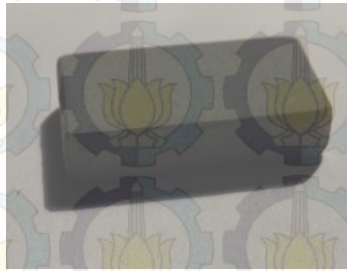
jenis ikatan	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)			
	Referensi*	Komposit PANi/SiO ₂		
		70-30	80-20	90-10
N-H <i>wagging</i>	750-650	684,68	68,68	686,61
Si-O-Si <i>stretching</i>	1130-1000	1009,67	1098,39	1097,42
C-N <i>stretching</i>	1360-1250	1297,04	1298,00	1297,04
C=C <i>stretching</i>	1650-1430	1597,91	1553,55	1554,52
C-H <i>stretching</i>	3000-2850	2957,64	2957,64	2959,56
N-H <i>stretching</i>	3400-3300	3403,16	3454,27	3434,98

Dalam Tabel 4.3 terlihat semua data panjang gelombang dari komposit yang dihasilkan sesuai dengan referensi, sehingga dapat disimpulkan proses polimerisasi *in situ* telah berhasil menghasilkan komposit PANi/SiO₂. Hal ini sesuai dengan salah satu syarat komposit yakni gabungan dua material menjadi satu tetapi tanpa terjadi reaksi kimia, sehingga sifat material yang terbentuk adalah gabungan dari dua sifat material asal.

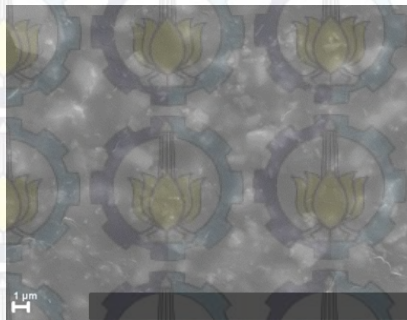
4.4 Hasil Pengecatan

Pengecatan adalah salah satu tahap yang sangat berpengaruh pada sistem perlindungan korosi, salah memilih cara pengecatan akan berpengaruh pada teknik perlindungan yang akan dilakukan, meskipun pengecatan dilakukan dengan bahan cat yang sama. Seperti yang terlihat dalam Gambar 4.8 komposit PANi/SiO₂ yang terbentuk masih terlihat beraglomerasi. Meskipun ukuran dari Silika yang digunakan berskala nanometer, akan tetapi jika terjadi penggumpalan maka ukurannya akan kembali besar. Efeknya adalah jika komposit PANi/SiO₂ dicampurkan dengan cat dan pengecatan yang dilakukan hanya dengan cara mencelup maka hasilnya akan tidak merata. Jika terjadi aglomerasi komposit PANi/SiO₂ pada satu tempat saja maka akan berakibat fatal. Serangan korosi justru akan terjadi pada titik yang tidak terlindungi dan hal ini mengakibatkan gagalnya perlindungan yang dilakukan. *Spray* merupakan teknik yang tepat untuk

mendapatkan hasil pengecatan dengan homogenitas yang tinggi. Homogenitas ini terjadi karena tekanan tinggi dari udara yang disemprotkan pada cat memaksa partikel-partikel cat tersebar merata disemua bagian. Sehingga pengecatan dengan metode *spray* dapat meminimalisasi adanya penggumpalan bahan yang digunakan. Gambar 4.10 berikut adalah gambar hasil pengecatan.

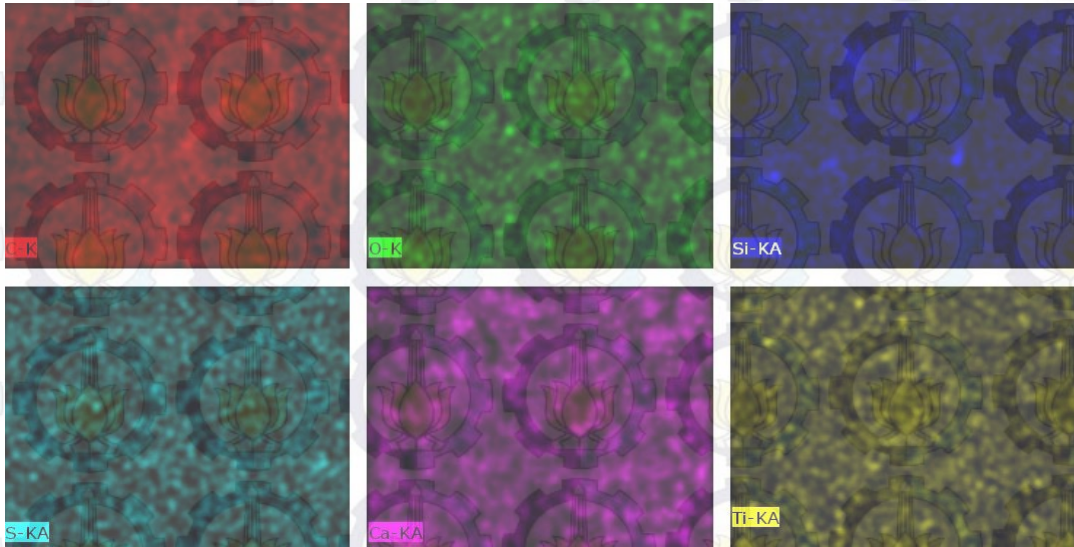


Gambar 4.10 Baja Dengan Pengecatan *Spray*



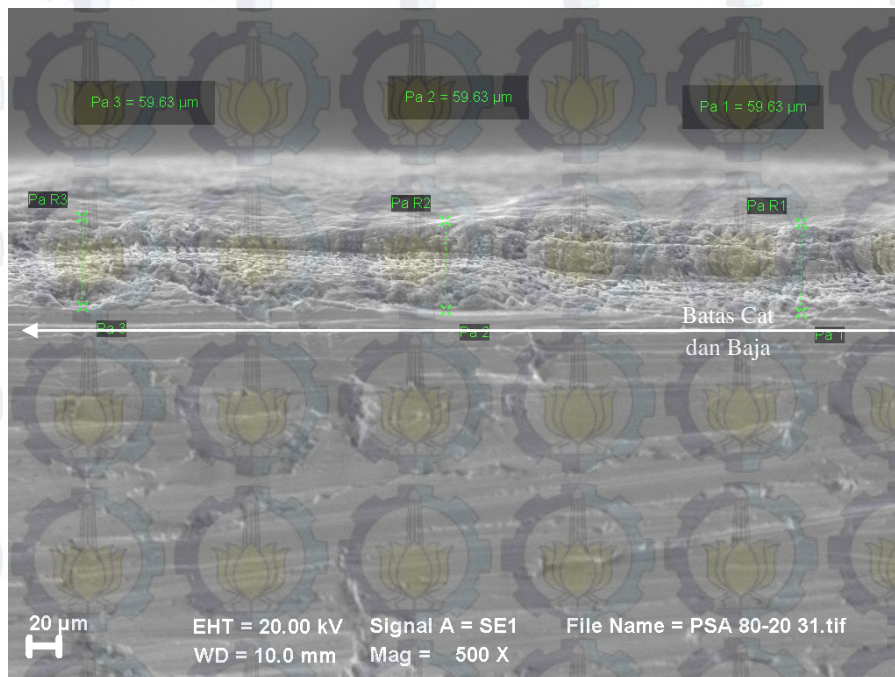
Gambar 4.11 Hasil Analisa SEM dari Permukaan Atas Cat Dengan Metode *Spray*

Untuk membuktikan hasil sebaran pengecatan secara *spray* dilakukan pengujian dengan foto SEM. Gambar 4.11 diatas merupakan pengamatan dilakukan pada perbesaran tinggi. Tampak adanya komposit PANi/SiO₂ yang tersebar merata di permukaan cat. Gambar yang lebih terang merupakan komposit PANi/SiO₂, sedangkan bagian yang lebih gelap merupakan cat logam dan PANi. Hasil yang merata ini akan mendukung maksimalnya perlindungan yang dilakukan komposit terhadap baja SS304 yang akan dilapisi. Untuk memastikan sebaran komposisi Silika dan PANi pada permukaan atas perlu dilakukan uji EDX. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.12.



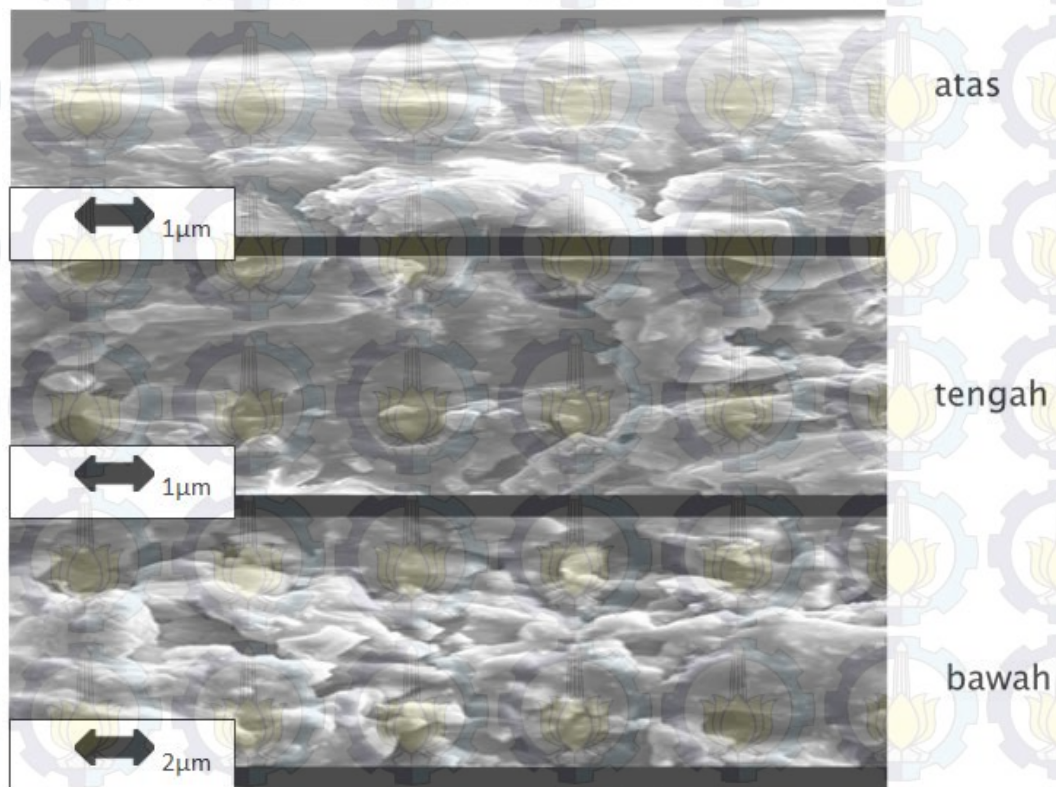
Gambar 4.12 Hasil EDX dari Permukaan Atas Cat Dengan Metode *Spray*

Hasil EDX pada Gambar 4.12 di atas menunjukkan dengan pasti sebaran dari SiO_2 dan PANi. Terlihat warna biru adalah unsur Si yang merupakan penyusun dari SiO_2 , Silika tersebar merata dipermukaan cat. Hasil ini menunjukkan bahwa SiO_2 yang awalnya menggumpal (Gambar 4.10) dapat dipisah dan disebar secara merata dipermukaan atas cat. Warna hijau adalah unsur Sulfur yang merupakan bahan penyusun PANi, yaitu *Dodecyl Benzene Sulfonic Acid* (DBSA) dan APS. Sampai pada tahapan ini data yang dihasilkan bisa menjelaskan homogenitas sebaran Silika pada permukaan atas cat. Dalam proses pengecatan secara *spray* (semprot), ketebalan lapisan cenderung lebih tipis dan merata. Gambar 4.13 di bawah merupakan gambar ketebalan penampang lintang cat dengan metode *spray*.



Gambar 4.13 Pengukuran Ketebalan Cat Dengan SEM

Gambar 4.13 menunjukkan ketebalan cat rata-rata mencapai $59\mu\text{m}$. Lapisan yang sangat tipis ini akan meningkatkan efisiensi penggunaan cat. Ketebalan di semua sisi hampir sama, sehingga menunjukkan bahwa metode *spray* dapat digunakan sebagai metode pengecatan untuk mendapatkan permukaan yang merata. Untuk melihat sebaran partikel yang terjadi pada penampang lintang hasil pengecatan dilakukan uji SEM dengan perbesaran lebih tinggi. Hasilnya terlihat gambar SEM di bawah. Jika dilihat secara penampang lintang ada keunikan yang terdapat pada lapisan cat tersebut.



Gambar 4.14 Hasil SEM Penampang Lintang Bagian Atas, Tengah, Dan Bawah

Pada Gambar 4.14 diatas terlihat hanya sedikit SiO_2 yang terdapat di permukaan. Hal ini disebabkan karena hanya sebagian saja SiO_2 yang bergabung dengan PANi untuk membentuk komposit. Akan tetapi, ini bukan sebuah kelemahan sistem perlindungan korosi yang dibuat. Hal ini sesuai dengan tujuan semula yaitu membentuk lapisan untuk melindungi korosi, yaitu dibagian atas terdapat sedikit SiO_2 dan semakin ke dalam semakin banyak SiO_2 yang mengendap. Pada bagian atas terdapat banyak PANi. Sebaran PANi di permukaan dapat dilihat pada hasil EDX Gambar 4.12 di atas, butiran hijau yang banyak terdapat di permukaan merupakan sebaran dari PANi. PANi cenderung terapung di permukaan cat, sehingga PANi banyak terdapat di permukaan cat. Sifat PANi yang ringan tersebut dimanfaatkan untuk mengikat sebagian SiO_2 yang cenderung lebih berat, sehingga SiO_2 bisa terangkat sebagian ke atas. Ikatan ini bisa terjadi jika SiO_2 dan PANi membentuk sebuah sistem komposit. Ikatan tersebut tidak akan terjadi ketika PANi tidak diproses secara *in situ* dengan SiO_2 karena SiO_2 tidak bisa menempel pada PANi sebagai komposit. Dengan kondisi seperti ini ada

keuntungan lain yang bisa didapat ketika Silika ada bersama dengan PANi, Silika merupakan bahan dengan kapasitas panas yang tinggi sedangkan PANi merupakan polimer yang tidak memiliki kapasitas panas yang tinggi sehingga mudah rusak ketika terkena panas. Dengan adanya Silika di antara PANi maka panas yang dilepaskan dari lingkungan tidak seluruhnya diserap oleh PANi, panas yang diberikan lingkungan akan sebagian terserap oleh Silika sehingga PANi tidak mudah rusak.

Semakin ke bawah semakin banyak Silika yang mengendap. Pada Gambar 4.14 bagian tengah terlihat jumlah Silika lebih banyak jika dibandingkan dengan bagian atas. Adanya Silika pada bagian tengah ini juga menunjukkan bahwa dengan metode *spray*, Silika tidak hanya ada di permukaan dan di dasar saja, tetapi Silika akan tersebar merata membentuk gradasi sebaran Silika dari permukaan sampai ke dasar. Gradasi ini terjadi karena cat telah mengering sebelum semua Silika mengendap. Hal ini tidak terjadi ketika pengecatan hanya dilakukan dengan pencelupan saja, karena metode pencelupan membutuhkan waktu pengeringan yang relatif lama jika dibandingkan dengan metode *spray*. Pada metode pencelupan, Silika cenderung terapung di permukaan dan tenggelam di dasar cat saja. Hasil pengecatan dengan metode *spray* seperti ini dipastikan peranan Silika bisa semakin maksimal. Dan pada bagian bawah merupakan bagian yang sangat banyak terdapat Silika. Pengendapan Silika ini akan berfungsi barisan material tahan korosi yang melindungi baja dari ion Cl^- yang akan mengkorosi permukaannya.

4.5 Pengujian Korosi Dengan Polarisasi

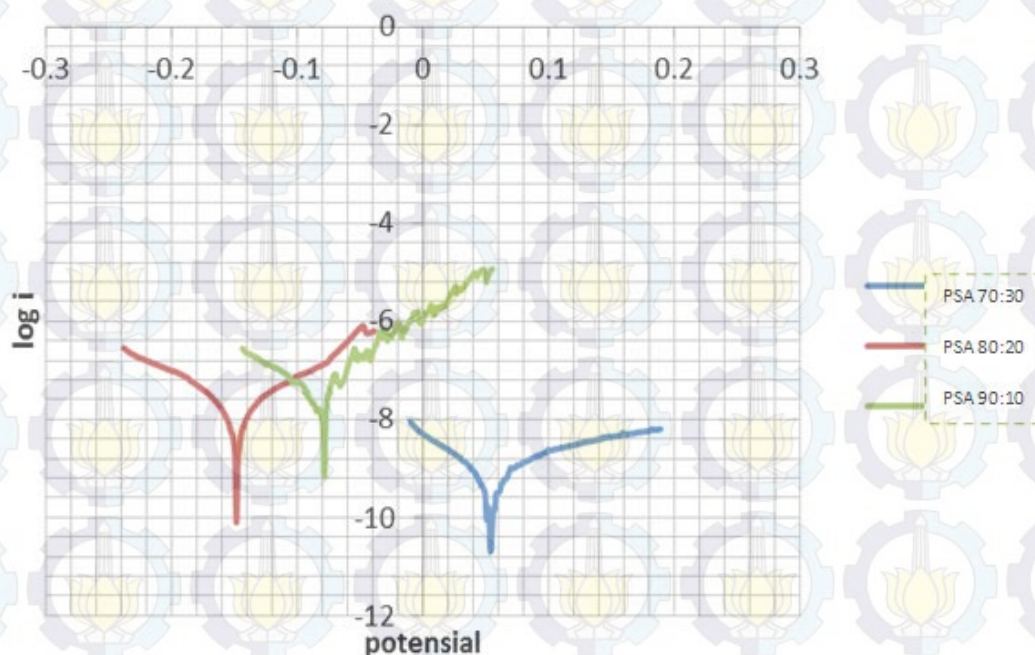
Bahan yang tahan terhadap korosi adalah bahan yang mempunyai laju korosi tidak melebihi 50 mpy. Laju korosi sendiri merupakan besaran yang digunakan untuk menggambarkan sukar atau tidaknya suatu material ketika berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya (Fontana, 1986). Penelitian sebelumnya dilakukan oleh (Saadatjoo et al., 2012), yaitu mengenai komposit PANi/SiO₂ sebagai material anti korosi, komposit tersebut berperan aktif dalam mencegah aliran-aliran elektrolit yang dapat merusak bahan logam. Untuk mengetahui kekuatan komposit dalam mencegah aliran elektrolit maka dilakukan pengujian korosi. Pengujian korosi dilakukan dengan menggunakan uji polarisasi. Uji polarisasi

dilakukan dengan larutan elektrolit berupa larutan NaCl 3,5%. Pemilihan larutan NaCl 3,5% didasarkan pada karakteristik dan komposisi kimia sumur panas bumi di Indonesia yang notabene mempunyai tingkat salinitas tinggi. Hasil pengujian yang dilakukan rata-rata perlindungan terkuat terjadi ketika cat dicampur dengan komposit PANi-SiO₂.

Laju korosi yang terjadi ketika cat dicampur dengan komposit ini mencapai $1,0 \times 10^{-5}$ mm/year. Hal ini sangat berbeda jika dibandingkan dengan cat yang tidak dicampur dengan komposit tersebut yang hanya mencapai maksimal perlindungannya adalah $2,5 \times 10^{-1}$ mm/year. Ada dua macam hal perlindungan yang dilakukan Silika. Pertama, Silika sangat tahan terhadap korosi karena Silika merupakan bahan keramik yang inert. Bahan inert tidak mudah bereaksi dengan lingkungan sekitar. Perlindungan kedua adalah pemilihan SiO₂ dengan fasa amorf. Daerah yang paling mudah diserang oleh ion korosif adalah bagian batas butir, karena bagian ini merupakan daerah dengan energi yang paling rendah sehingga tidak butuh energi yang besar untuk merusaknya. Sebagai bahan amorf, Silika tidak mempunyai batas butir sehingga ion pengkorosi yang biasanya menyerang batas butir tidak bisa mengaplikasikannya kepada amorf tersebut. Semakin banyak Silika yang diberikan maka semakin banyak bahan yang terlindungi. Sehingga, semakin rata Silika menyebar dipermukaan logam, maka semakin kuat pula perlindungan yang diberikan. Sedangkan, peranan PANi dalam perlindungan korosi adalah dengan cara membentuk lapisan pasif. PANi mempunyai sistem proteksi yang unik. PANi mempunyai kecenderungan bermuatan positif karena adanya pengikatan ion H⁺ ketika proses protonasi. Muatan positif yang dimiliki PANi⁺ dimanfaatkan untuk menolak ion Na⁺ dari larutan NaCl sesuai dengan gaya tolak-menolak Coulomb. Sedangkan ion negatif berupa ion OH⁻ dan Cl⁻ diloloskan. Ion Cl⁻ yang lolos akan kembali dihalangi oleh lapisan cat yang merupakan lapisan katodik (Wang et al., 2007), sedangkan ion Fe⁺ yang merupakan lingkungan basa bereaksi dengan OH⁻ yang merupakan lingkungan asam menghasilkan lapisan pasivasi yakni Fe₂O₃ (Bhadra et al., 2011).

Kedua perlindungan yang diberikan Silika dan PANi tersebut akan semakin maksimal jika jumlahnya semakin banyak. Namun penambahan yang diberikan

harus dikontrol dengan batasan-batasan tertentu, karena dikhawatirkan akan terjadi aglomerasi ketika bahan komposit tersebut terlalu berlebihan. Untuk menjawab masalah tersebut, dilakukan variasi perbandingan PANi:SiO₂. Perbandingan PANi:SiO₂ yang dilakukan adalah 90:10, 80:20, dan 70:30. Dengan hasil polarisasinya adalah sebagai berikut:



Gambar 4.15 Diagram Tafel Komposit PANi/SiO₂

Tabel 4.4 Analisis Polarisasi

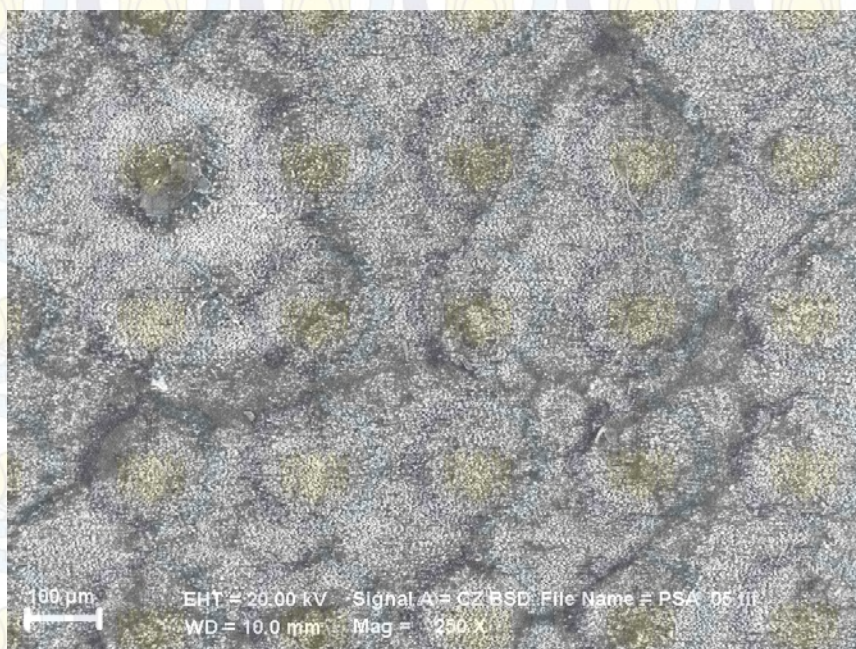
Komposisi	Persentase (PANi:SiO ₂)	Laju korosi (mm/year)
Baja	~	$6,5 \cdot 10^{-03}$
Baja + cat	~	$2,5 \cdot 10^{-01}$
Baja + cat + PSA	0-100	$2,5 \cdot 10^{-05}$
Baja+ cat +PANi	100-0	$7,0 \cdot 10^{-04}$
Baja + cat + PSA	70-30	$1,0 \cdot 10^{-05}$
Baja + cat +PSA	80-20	$1,9 \cdot 10^{-04}$
Baja + cat + PSA	90-10	$6,8 \cdot 10^{-04}$

Dari Gambar 4.15 data I_{corr} yang terukur kemudian diproses menggunakan persamaan 3.4 sehingga didapatkan laju korosi seperti yang tertera dalam tabel 4.4. Berdasarkan Tabel 4.4, dari data yang terhitung terlihat komposit PANi/SiO₂ yang terbaik dalam perlindungan korosinya adalah komposit PANi/SiO₂ dengan

perbandingan 70:30. Sedangkan yang terendah adalah ketika komposit yang dibuat memiliki perbandingan 90:10. Hal ini menandakan bahwa kondisi ideal komposit yang dibuat adalah perbandingan 80:20. Laju korosi yang terjadi komposit PANi/SiO₂ dengan perbandingan 70:30 sebesar $1,0 \cdot 10^{-05}$ mm/year, sedangkan komposit PANi/SiO₂ dengan perbandingan 90:10 adalah $6,8 \cdot 10^{-04}$ mm/year.

4.6 Proses Korosi

Jenis korosi yang terjadi pada tiap material berbeda sesuai dengan karakteristik material masing-masing. Begitu juga dengan PANi dan SiO₂. Jika cat yang telah dicampur dengan komposit SiO₂ dikorosikan dalam lingkungan larutan NaCl maka bisa juga terjadi korosi. Korosi yang terjadi ditunjukkan seperti pada Gambar 4.16

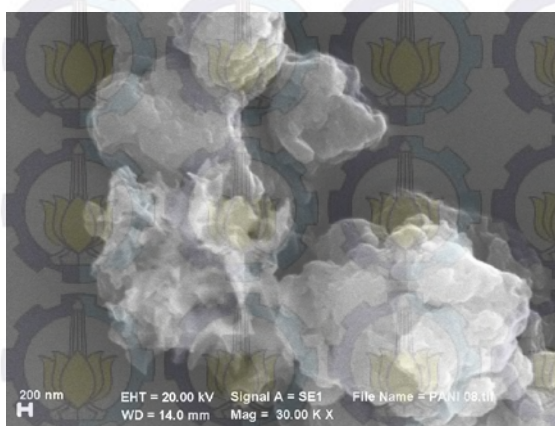


Gambar 4.16 Komposit PANi/SiO₂ Setelah Dimasukkan Dalam Larutan NaCl

Terlihat dalam Gambar 4.16, korosi yang terjadi merupakan korosi merata (*uniform corrosion*). Korosi yang terjadi tersebar merata di semua bagian permukaan cat. Pada Gambar terlihat bagian yang gelap merupakan bagian cat yang terkorosi. Korosi bermula dari celah-celah yang timbul ketika proses pengecatan. Celah ini diserang terlebih dahulu karena daerah ini lebih rentan

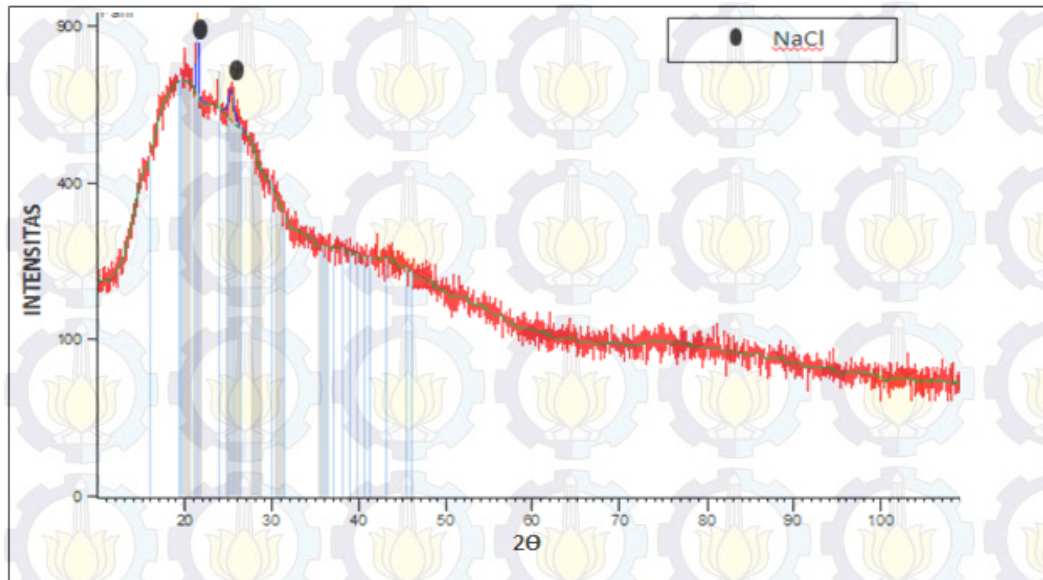
korosi daripada daerah lain. Daerah celah ini adalah bagian yang tidak terlindungi oleh Silika maupun PANi. Bagian yang tidak terlindungi ini sangat rentan terhadap korosi karena kandungan dari cat lebih mudah diserang korosi dibandingkan PANi dan Silika. Korosi merata (*uniform corrosion*) berlangsung secara lambat. Korosi ini mula-mula terjadi pada sebagian permukaan logam dan korosi akan menyebar ke seluruh permukaan logam dengan bertambahnya waktu.

Meskipun PANi merupakan polimer yang tahan terhadap serangan korosi, tetapi bukan berarti bahan ini tidak bereaksi ketika diserang oleh korosi. Jika PANi berada dalam larutan NaCl, maka akan terjadi sebuah reaksi pembentukan lapisan tertentu. Gambar di bawah menunjukkan PANi yang direndam dalam larutan NaCl.



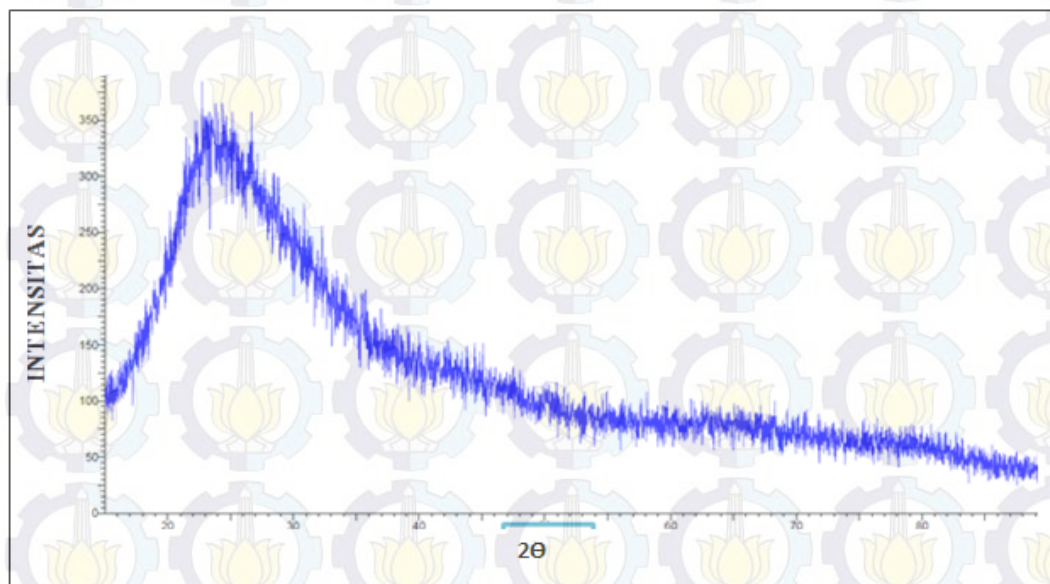
Gambar 4.17 PANi Setelah Direndam Dalam Larutan NaCl

Gambar 4.17 menunjukkan gumpalan PANi yang terbentuk setelah direndam dalam NaCl. PANi yang semula berbentuk seperti benang memanjang (Gambar 4.8) berubah menjadi bentuk bergerombol dan menggumpal. Gumpalan ini merupakan suatu perlindungan yang dilakukan PANi untuk melindungi lingkungan sekitarnya. Perlindungan tersebut menyebabkan PANi tahan terhadap serangan Na^+ maupun Cl^- . Bukti dari kuatnya perlindungan PANi terbukti dalam grafik XRD PANi yang telah dicampurkan ke dalam larutan NaCl. Pada gambar 4.18 tampak puncak-puncak baru yang terbentuk adalah puncak NaCl, hal tersebut mengindikasikan bahwa NaCl tidak mampu bersenyawa dengan PANi.



Gambar 4.18 Grafik XRD PANi setelah Direndam Dalam Larutan NaCl

Hal yang sama terjadi pada Silika. Silika tidak bereaksi jika berinteraksi dengan larutan NaCl. Hal ini dikarenakan sifat inert yang dimiliki Silika tidak dapat rusak oleh NaCl. Untuk memperjelas hasil interaksi antara Silika dengan larutan NaCl dilakukan pengujian dengan XRD.



Gambar 4.19 Pola Difraksi Sinar-X Silika Setelah Direndam Dalam NaCl

Gambar 4.19 menjelaskan tidak ada puncak yang muncul. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada fasa baru yang terbentuk ketika Silika berinteraksi dengan NaCl.

Silika amorf tetap pada struktur yang sama, karena puncak yang terbentuk sama seperti puncak pada Gambar 4.6.

4.7 Pembahasan

Baja SS304 merupakan tipe baja tahan karat yang sering dipakai sebagai baja konstruksi bangunan, tetapi baja tipe ini tidak terlalu kuat dalam lingkungan dengan tingkat salinitas yang tinggi. Sehingga baja tipe ini juga membutuhkan perlindungan dari lingkungan yang banyak mengandung ion Cl^- . Silika bisa menjadi solusi untuk itu karena silika (SiO_2) merupakan oksida dari unsur Silikon yang mampu bertahan dalam lingkungan air laut yakni berupa pasir Silika. Akan tetapi perlu perlakuan khusus jika ingin menggunakan SiO_2 sebagai bahan pelindung baja karena Silika tidak dapat menempel ke permukaan baja tersebut. Ada beberapa cara untuk menempelkan Silika ke permukaan baja. Salah satunya adalah dengan metode *powder coat*, yakni pelapisan serbuk ke metal dengan menggunakan suhu tinggi. Cara ini bisa dilakukan untuk benda yang berukuran kecil karena membutuhkan suatu ruangan khusus. Tetapi untuk penggunaan dengan skala yang lebih luas, teknik ini tidak tepat. Hal lain yang menjadi pertimbangan ketika menggunakan *powder coat* adalah mahalnya biaya untuk pengecatan tersebut. Maka diperlukan metode yang lain. Metode lain yang bisa digunakan yakni dengan memanfaatkan cat logam sebagai *binder*. Cat merupakan bahan yang seringkali digunakan untuk mempercantik tampilan dari suatu benda. Cat yang dijual di pasaran sudah memiliki kemampuan daya rekat yang tinggi. Selain murah, cat bisa melindungi suatu sistem yang terpapar luas dari korosi, karena salah satu penyebab terjadinya korosi adalah karena adanya kontak langsung antara material dengan lingkungan sekitar. Akan tetapi, cat yang tidak dilengkapi perlindungan ekstra akan sangat mudah rusak. Perlindungan ekstra yang dimaksud adalah campuran khusus yang mampu mengurangi cepatnya pengerusakan yang dilakukan ion dari lingkungan sekitar, misalnya ion Cl^- .

Jika dilihat berdasarkan hasil yang didapat perlindungan yang hanya menggunakan cat akan rentan terserang oleh korosi. Hasil itu dapat dilihat pada Tabel 4.3 di atas. Campuran antara Silika dan cat merupakan cara efektif untuk perlindungan baja SS304. Silika bisa menempel ke permukaan logam dan Silika

dapat melakukan perlindungan terhadap ion pengkorosif. Perlindungan dengan menggunakan Silika dan cat saja sebenarnya sudah bagus karena Silika mampu menangkal ion pengkorosi karena sifatnya yang inert (Tabel 4.3). Namun, Silika yang dicampurkan ke dalam cat mempunyai kekurangan karena cat cenderung mengendap pada bagian dasar cat saja. Pengendapan akan berakibat tidak terlindunginya cat yang berada pada bagian atas. Sehingga cara ini saja dianggap kurang maksimal. Langkah yang bisa dilakukan agar Silika juga tersebar merata sampai ke permukaan adalah mencari material lain yang mampu mengikat Silika, suatu material yang bisa terapung di permukaan cat. PANi adalah bahan yang terapung di dalam cat. PANi merupakan bahan yang tepat untuk mengikat Silika agar tidak semua Silika terendap dalam cat. PANi merupakan bahan yang dapat berfungsi sebagai bahan anti korosi juga, sebagai polimer konduktif PANi dapat mengikat ion lain membentuk sebuah lapisan anti korosi. Campuran Silika dengan PANi merupakan sebuah kombinasi yang komplit karena akan ada dua macam perlindungan, yaitu perlindungan korosi oleh Silika dan PANi. Akan tetapi, ketika PANi hanya dicampur langsung dengan Silika tanpa perlakuan apapun, PANi belum mampu mengikat Silika. Silika kembali mengendap ketika di campur dengan cat, dan PANi mengambang tanpa ada ikatan dengan Silika. Kondisi ini dapat hanya dapat teratasi dengan cara pembuatan komposit PANi/Silika dengan metode *in situ*. Metode *in situ* merupakan proses pembuatan komposit ketika proses lain sedang berlangsung. Ketika PANi terbentuk dari Anilin, Silika menyisip dalam rantai PANi yang sedang terbentuk. Hasil komposit ini dapat dilihat dalam Gambar 4.8. Silika menggerombol dalam rantai PANi yang terbentuk. Silika terlihat menyisip di antara PANi. Ketika dicampur dan diaduk dengan cat, ikatan komposit tetap dapat dipertahankan. Peristiwa ini ditunjukkan dalam Gambar 4.11. Ada sebagian Silika yang tersebar merata di permukaan cat yang menandakan PANi mampu mengangkat Silika dan mempertahankan posisinya tetap di atas. Sebaran Silika di permukaan cat dapat dilihat pada hasil EDX pada Gambar 4.12. Dari Gambar 4.12 tersebut tampak Silika terdistribusi merata di permukaan cat. Semakin banyak Silika yang tersebar di permukaan, maka perlindungan yang diberikan Silika terhadap permukaan logam semakin baik.

Perlindungan yang dilakukan PANi terhadap serangan korosi dapat dilihat dari Gambar 4.17. PANi yang semula berbentuk untaian panjang (Gambar 4.8) berubah menjadi gumpalan-gumpalan. Gumpalan tersebut merupakan lapisan yang dibentuk PANi karena adanya serangan dari ion korosif yaitu ion Cl^- yang berasal dari larutan NaCl. Hal ini sesuai dengan penelitian yang sebelumnya (Silvia, 2013) yang mengatakan PANi merupakan polimer konduktif yang bisa digunakan sebagai bahan anti korosi. Sedangkan perlindungan yang diberikan yang terkuat diberikan oleh Silika, Silika tidak bereaksi sama sekali terhadap serangan korosi dari larutan NaCl. Hasil ini dapat dilihat dari Gambar 4.19. Silika tidak mengalami reaksi apapun ketika dicampur dengan larutan NaCl. Silika yang dipilih dalam penelitian ini merupakan Silika yang memiliki fasa amorf. Silika amorf tidak memiliki batas butir sehingga partikel ini tidak memiliki titik lemah yang dapat diserang oleh ion pengkorosif. Silika amorf yang tersebar merata di permukaan cat dapat melindungi baja dari serangan korosi. Perlindungan yang tersebar merata akan menghasilkan perlindungan yang maksimal. Berdasarkan Gambar 4.16, korosi yang terjadi merupakan korosi merata (*uniform corrosion*). Korosi tipe ini berjalan lambat karena perlindungan yang diberikan mampu melindungi dengan baik di semua sisi. Akan tetapi, Silika dan PANi yang dicampurkan dalam cat harus memiliki persentase yang tepat guna menghindari terjadinya penggumpalan yang berakibat Silika tidak menyebar secara merata.

Berdasarkan hasil yang didapat dalam proses perlindungan korosi, persentase campuran antara PANi dan Silika yang terbaik adalah 70:30. Berdasarkan Tabel 4.4, laju korosi terbesar ketika persentase komposit PANi/SiO₂ dengan perbandingan 90:10 sebesar $6,8 \times 10^{-4}$ mm/year. Laju korosi terkecil terjadi ketika komposit PANi/SiO₂ dengan perbandingan 70:30 yaitu $1,0 \times 10^{-5}$ mm/year. Berdasarkan data yang didapat, terlihat bahwa peranan silika sangat penting sehingga semakin banyak silika yang diberikan, maka semakin kuat perlindungan yang mampu diberikan. Dengan perbandingan 70:30 perlindungan korosi yang diberikan bisa mencapai sepuluh kali lipat lebih kuat jika dibandingkan dengan baja SS304 tanpa perlindungan (Tabel 4.4).

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Bab 5 ini berisi tentang simpulan berdasarkan data dan analisisnya serta saran sebagai tindak lanjut dari hasil yang telah diperoleh.

5.1. Simpulan

1. Sintesis SiO_2 dengan kemurnian tinggi dari bahan alam Pasir Bancar bisa didapatkan dengan metode kopresitasi dan hidrotermal.
2. Komposit PANi/ SiO_2 dapat disintesis dengan cara metode polimerisasi *in situ* yang berfungsi sebagai bahan pelindung terhadap serangan korosi dengan perlindungan berganda berupa PANi dan SiO_2
3. Pelapisan komposit cat-PANi/ SiO_2 mampu melindungi baja SS304 dari serangan korosi larutan salinitas tinggi hingga 10 kali lipat dibandingkan dengan baja tanpa pelapisan
4. Tingkatan laju korosi dari yang nilai tertinggi sampai yang terendah adalah $6,8 \times 10^{-4}$ mmpy, $1,9 \times 10^{-4}$ mmpy, dan $1,0 \times 10^{-5}$ mmpy dengan persentase SiO_2 secara berurutan 10%, 20% , dan 30%.

5.2. Saran

Beberapa saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Perhitungan perbandingan PANi- SiO_2 secara detail ketika proses sintesa komposit.
2. Penelitian mengenai bahan surfaktan PANi- SiO_2 untuk mencegah penggumpalan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Aboutanos, V., Barisci, J.N., Kane-Maguire, L.A.P., And Wallace, G.G., 1999. Electrochemical Preparation Of Chiral Polyaniline Nanocomposites. *Synthetic Metals*,. 106(2): P. 89-95.
- Akbar, Sulthoni, 2011. Sintesis Silika Amorf Berbasis Pasir Alam Slopeng Menggunakan Metode Alkalifusion. Jurusan Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Akhavan, A.C., 2012. Overview of Silica Polimorphs. The Quartz Page.
- Asrori, M.Z., 2000. Fisika Polimer. Jurusan Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Bhadra, Sambhu, 2011, Polyaniline Based Anticorrosive And Anti Molding Coating. *Journal of Chemical Engineering and Materials Science* Vol. 2(1), pp. 1-11
- B. Basu, KanteshBalani. 2011. Advanced Structural Ceramics. Wiley-American Ceramic Society.Kanada.
- D.C. Trivedi, in: H.S. Nalwa (Ed.).1997. Handbook of Organic Conductive Molecules and Polymers, vol. 2, John Wiley. Chichester.
- Fessenden & Fessenden. 1986, Kimia Organik, Edisi ketiga, Jakarta. Erlangga.
- Florke, O.W., 1955. Structural anomalies in tridymite and cristobalite. *Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft* 32, 369–381.
- Fontana, M.G., 2005. Corrosion Engineering. Tata McGraw-Hill.
- Han, Y. G., Kusunose, T. dan Sekino, T. 2009. “One-Step Reverse Micelle Polymerization Of Organic Dispersible Polyaniline Nanoparticles”, *Synthetic Metals*, Vol. 159, hal. 123–131.
- Hardaker, S. S. dan Gregory, R. V. 1999. “Polianiline”, dalam *Polymer Data Handbook*, ed. Mark, J. E., Oxford University Press, United Kingdom, hal 271-275.
- Hartining, Tri. 2013. Pengaruh Variasi Temperatur Kalsinasi Pasir Silika sebagai Pengisi Bahan Komposit Anti Korosi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

- Li, X., Wang, G., Li, X., 2005. Surface Modification of Nano-SiO₂ Particles Using Polyaniline. *Surface and Coatings Technology* 197, 56–60.
- MacDiarmid, A. G., 2001. “Nobel Lecture: “Synthetic Metals””: A Novel Role For Organic Polymers”, *Reviews of Modern Physics*, Vol. 73, hal. 701-712.
- Mori, Hidetsugu ., 2003. Extraction of Silicon Dioxide from Waste Colored Glasses by Alkali Fusion Sodium Hydroxide. *Journal of the Ceramic Society of Japan* 111, 376-381.
- Mort. J & Pfister. G. 1982. *Electronic Properties of Polymers*, New York. John Willey and Sons.
- Musić, S., Filipović-Vinceković, N., Sekovanić, L., 2011. Precipitation of amorphous SiO₂ particles and their properties. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 28, 89–94.
- Rochimah, I., 1995. *Sintesis Polianilin Pengaruh Konsentrasi dan Jenis Asam Dopan terhadap Konduktivitas Listrik Polianilin*, Laporan Tugas Akhir Jurusan Fisika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Saadatjoo, N., Khorami, P., Mirmajidi, M., 2012. Synthesis and Anticorrosive Properties of Polyaniline/SiO₂ Nanocomposites. *Proceedings Of The 4th International Conference On Nanostructures*, 120–122.
- Silvia, Linda, 2013. *Pelapisan Komposit PANi/BAM-SiO₂ Berbasis Material Alam Sebagai Pelapis Anti Korosi Dan Penyerap Gelombang Mikro Pada Baja Grade A Tipe AH36*. Jurusan Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Stejskal, J., Quadrat, O., Sapurina, I., Zemek, J., Drelinkiewicz, A., Hasik, M., Křivka, I., Prokeš, J., 2002. Polyaniline-coated silica gel. *European Polymer Journal* 38, 631–637.
- Suasmo, 2000. *Fisika Keramik*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Szostak, R., 1998. *Molecular Sieves: Principles Of Synthesis And Identification*, Springer.
- Thuadaj, Nittaya., 2008. Preparation of Nanosilica Powder from Rice Husk Ash by Precipitation Method. *Chiang Mai J. Sci* 35(1). 206-211

Tsotra, P., Friedrich, K. 2004. Thermal, Mechanical, And Electrical Properties Of Epoxy Resin/Polyaniline - Dodecylbenzenesulfonic Acid Blends”, Synthetic Metals, Vol. 143, hal. 237–242.

Umi, S., 2007, Studi Pengaruh Konsentrasi Anilin dan HCl Terhadap Konduktivitas Listrik Polianilin Hasil Elektropolimerisasi, Laporan Tugas Akhir Jurusan Fisika, Universitas Negeri Surabaya.

Van Vlack. L, 1984, Ilmu Bahan dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam), Edisi kelima, Diterjemahkan oleh Sriati Djaprie, Jakarta. Erlangga.

Wahl, F. M., et al, 1961, Phase Transformations In Silica As Examined by Continuous X-Ray Diffraction. A Mineral. 46, 196-208.

Wang, Jianguo . 2007. Polyaniline-Related Ion-Barrier Anticorrosion Coatings II. Protection Behavior Of Polyaniline, Cationic, And Bipolar Films. Synthetic Metals 157 (2007) 851–858

<http://en.wikipedia.org/wiki/Polyaniline>

<http://id.wikipedia.org/wiki/Korosi>

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Hasil XRF Bahan Dasar.....	47
-------------------------------------	----

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN
Hasil XRF Bahan Dasar

A. Hasil XRF Pasir Pantai Bancar

Compound	Si	K	Ca	Ti	V
Conc. unit	71,5+/-0,3 %	0,77+/-0,01 %	22,8+/-0,2 %	0,53+/-0,0098 %	0,01+/-0,005 %

Compound	Cr	Mn	Fe	Ni
Conc. unit	0,074+/-0,012 %	0,14+/-0,008 %	3,57+/-0,03 %	0,03+/-0,009 %

Compound	Cu	Sr	Ba	Yb
Conc. unit	0,088+/-0,005 %	0,45+/-0,02 %	0,1+/-0,03 %	0,09+/-0,01 %

B. Hasil XRF Pasir Pantai Bancar setelah Kopresipitasi

Compound	Si	Ca	Ti	V
Conc. unit	92,2+/-0,04 %	1,68+/-0,03 %	0,79+/-0,02 %	0,02+/-0,004 %

Compound	Cr	Fe	Mn	Ni
Conc. unit	0,095+/- 0,009 %	1,54+/- 0,008 %	0,076+/- 0,001 %	1,07+/- 0,009 %

Compound	Cu	Zn	Zr	Re
Conc. unit	0,19+/- 0,006 %	0,01+/- 0,008 %	2,1+/-0,01 %	0,2+/- 0,008 %

C. Hasil XRF Baja SS304

Compound	Ca	V	Sc	Cr
Conc. unit	0,21+/- 0,02 %	0,058+/- 0,008 %	0,094+/- 0,003 %	17,3+/- 0,04 %

Compound	Mn	Fe	Ni	La
Conc. unit	1,49+/- 0,12 %	72,31+/- 0,14 %	8,49+/- 0,01 %	0,09+/- 0,003 %

D. Hasil XRF Cat

Compound	Ca	Ti	V	Fe	Ni
Conc. unit	99,6+/- 0,03 %	4,86+/- 0,01 %	0,07+/- 0,05 %	0,25+/- 0,003 %	0,65+/- 0,005 %

Compound	Cu	Zn	Mo	Yb
Conc. unit	0,094+/- 0,003 %	1,34+/- 0,009 %	0,49+/- 0,02 %	0,3+/-0,03 %

E. Karakteristik dan Komposisi Kimia Sumur Panas Bumi di Indonesia

Table 1 - Chemical Composition of Springs and Geothermal Wells in Indonesia (Partial Analysis).																	Fumarole Gas Compositions Kamojang & Darajat. Average Values		
Location	Temp deg C	Sample Date	Elevation (m)	pH	Li	Na	K	Mg	Ca	Cl	B	F	CO2	SO4	SiO2		CO2 Mole%	H2S Mole%	Residuals Mole%
Kamojang S1	96	1972	1640	2.9	0	20	5	14.6	30.3	17	0.15		NIL	335	212	Kamojang	96.6	1.85	1.65
Kamojang S2	51	1972	1500	8.2	0.02	40	15	26	37	13	0.4		340	80	156	Darajat	95	2.8	2.2
Darajat S3	77	1974	1850	3		13	5.7	10	17.5	3	0.5		NIL	1150	200	Residual gases are N2, H2, NH3 & CH4			
Darajat S4	40	1974	1620	4.5		63	2.6	6.2	1.6	14			100	430	150				
Garut S5	40	1972	715	6	0.15	181	31	148	59	110	2.4		350	700	135				
Cisolok S6	98	1974	240	8.7	2	440	31.5	2.2	8.8	405	23	1.9	150	130	200				
Lahendong S7	88	1972	750	8.7	1	350	14	0.1	0.4	290	7.4		285	85	315				
Ijen S8	52	1972	950	8.3	0.25	220	47	10.4	20.5	105	7.6		680	10	160				
Sibayak S9	57	1989	1380	6.7	0.25	72	29.5	45	150	110	0.14		665	65	49.5				
Kamojang W10	100	1974	1620	4.6	0.75	100	10	<0.1	<1.0	2			0-100	290	415				
Darajat W11	100	1985	1800	7.1	1.4	1460	44	4.9	22.5	220	23.4		2680	685	255				
Salak W12	100	1983	1200	6.7	12.4	3675	876	1	268	6810	258		37	20	495				
Wayang Windu W13	100	1996	1700	6.3	33	11250	3060	0.6	885	22160	692		<10	75	355				
Ijen Crater Lake L14	33	1972	2000	<1.0		800	1020	680	770	21800		400	NIL	62400	210				
Keli-Tan L15	18	1994	1354	2.9	0.03	43	4	32	434	100	135	10	0	1475	178				
Keli-Tan L16	32.7	1994	1394	0.3	1.5	1042	630	1194	1032	25600	135	2450	0	47000	183				

S = Spring L = Lake W = Well conc. mg/kg

BIODATA PENULIS



Dian Mart Shoodiqin, lahir di Lumajang pada tanggal 21 Maret 1988, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara pasangan Tegen dan Uma'inah. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN 1 Yosowilangun Lor, SLTPN 1 Yosowilangun, SMAN 2 Lumajang, S1 Fisika ITS angkatan 2006 dan S2 Fisika ITS angkatan 2012 dengan NRP 1112 201 016. Di Jurusan Fisika ini, penulis mengambil bidang minat material. Selama menjadi mahasiswa S1 Fisika ITS penulis aktif sebagai Asisten TPB Fisika Dasar tahun ajaran 2012/2013, dan mengikuti penelitian serta kegiatan yang diselenggarakan oleh jurusan. Penulis juga tergabung sebagai pengajar di bimbingan belajar Sony Sugema College periode 2011-sekarang. Kritik dan saran dapat dikirim ke email: ms.dian21@gmail.com